

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 886 847 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

22.12.1999 Patentblatt 1999/51

(51) Int Cl. 6: G08G 5/04, G01S 5/00

(21) Anmeldenummer: 97919267.1

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE97/00484

(22) Anmeldetag: 07.03.1997

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 97/34276 (18.09.1997 Gazette 1997/40)

(54) VERFAHREN ZUR ERKENNUNG EINES KOLLISIONSRISIKOS UND ZUR VERMEIDUNG VON KOLLISIONEN IN DER LUFTFAHRT

METHOD OF DETECTING A COLLISION RISK AND PREVENTING AIR COLLISIONS

PROCEDE PERMETTANT DE DETECTER UN RISQUE DE COLLISION ET D'EMPECHER LES COLLISIONS AERIENNES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

• SCHULZE, Richard
D-64289 Darmstadt (DE)
• VON VIEBAHN, Harro
D-64401 Gro-Bieberau (DE)

(30) Priorität: 12.03.1996 DE 19609613

(74) Vertreter: Gornott, Dietmar, Dipl.-Ing.
Zilweg 29
64291 Darmstadt (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.12.1998 Patentblatt 1998/53

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A-0 565 399 EP-A-0 674 299
WO-A-95/28650 WO-A-96/05562
FR-A-2 716 028 US-A-5 045 860

(73) Patentinhaber: VDO Luftfahrtgeräte Werk GmbH
D-60423 Frankfurt (DE)

(72) Erfinder:

• SCHIEFELE, Jens
D-65207 Wiesbaden (DE)

EP 0 886 847 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur Erkennung eines Kollisionsrisikos und zur Vermeidung von Kollisionen in der Luftfahrt.

5 [0002] Zur Verhinderung von Zusammenstößen ist das TCASII (Traffic Collision Avoidance System) bekanntgeworden und beispielsweise in der Druckschrift FAA, Reprint by BFS, "TCASII System Description", Washington, DC, USA 1993 beschrieben. Die Ausrüstung aller in den USA zugelassenen Luftfahrzeuge mit mehr als 30 Sitzplätzen mit diesem System ist in den USA seit 1993 vorgeschrieben. Es warnt Luftfahrzeugführer direkt vor möglichen Konflikten mit anderen Luftfahrzeugen in der Umgebung. Unabhängig von der Bodenkontrolle und den Sichtverhältnissen erhält der

10 Luftfahrzeugführer die Möglichkeit, potentielle Konflikte rechtzeitig zu erkennen und zu reagieren. Der dem TCASII zugrundeliegende Algorithmus ist nicht dazu bestimmt, den regulären Flugverkehr zu kontrollieren. Er soll lediglich bei Fehlverhalten von Luftfahrtteilnehmern oder der Bodenkontrolle eine Kollision verhindern.

15 [0003] Dieser Algorithmus basiert auf dem TAU-Kriterium, das die relative Annäherungszeit zweier Luftfahrzeuge bis zum Zeitpunkt der nächsten Annäherung bestimmt. Dazu werden die Transponder der beteiligten Luftfahrzeuge wiederholt aktiv abgefragt. Die Zeit bis zur weitesten Annäherung wird dann bei konstantem Flugverhalten errechnet. Wird ein gewisser Zeitschwellwert bis zur weitesten Annäherung unterschritten, reagiert das System und schlägt dem Luftfahrzeugführer ein vertikales Ausweichmanöver vor.

20 [0004] In Bodennähe ist die Funktion von TCAS eingeschränkt, und im Bodenrollverkehr kann TCAS nicht eingesetzt werden. Ferner sind vertikale Ausweichmanöver nicht konform zu den anerkannten Ausweichregeln. Bei den vorgeschlagenen vertikalen Ausweichmanövern besteht die Gefahr, daß andere Flugebenen durchflogen werden und eine Gefährdung weiterer Luftverkehrsteilnehmer eintritt.

25 [0005] Durch WO 95/28650 ist ein Flugzeugortungs- und -identifikationssystem bekanntgeworden, bei dem zu vorgegebenen Zeitpunkten jeweils ein Volumen berechnet wird, in welchem sich das jeweilige Luftfahrzeug mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit befindet. Eine Kollisionsgefahr liegt dabei vor, wenn sich für jeweils den gleichen Zeitpunkt berechnete Volumen für mindestens zwei Luftfahrzeuge überschneiden. Das jeweils zu betrachtende Volumen wächst mit zunehmender Zeit an und ist nicht ortsfest über die Vorhersagezeit. Die Bestimmung von Schnittmengen dieser verschiedenen Volumen ist dadurch mathematisch aufwendig und schwierig.

30 [0006] Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Aufgabe zugrunde, tatsächlich bestehende Konfliktpotentiale dem Piloten in anschaulicher Weise zu visualisieren, so daß der Pilot sichere Entscheidungen für Ausweichrouten treffen kann.

[0007] Ferner soll außer der Erfassung des tatsächlich bestehenden Konfliktpotentials ein automatisches Vorschlagen von Ausweichrouten möglich gemacht werden, ohne daß dabei weitere Risiken entstehen.

35 [0008] Bei einem Verfahren zur Erkennung eines Kollisionsrisikos wird die erfindungsgemäße Aufgabe dadurch gelöst, daß für das jeweils eigene Luftfahrzeug Wahrscheinlichkeiten berechnet werden, mit welchen sich das Luftfahrzeug zu mehreren ausgewählten Zeitpunkten in vorgegebenen Raumelementen befinden wird, (Aufenthaltswahrscheinlichkeiten) und daß aus den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des eigenen Luftfahrzeugs und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von anderen Objekten die Wahrscheinlichkeiten des gleichzeitigen Aufenthalts des eigenen Luftfahrzeugs und mindestens eines der anderen Objekte in jeweils einem Raumelement (Kollisionswahrscheinlichkeiten) für die vorgegebenen Raumelemente und die ausgewählten Zeitpunkte berechnet werden.

40 [0009] Wie das bekannte TCASII-Verfahren soll das erfindungsgemäße Verfahren nicht den regulären Flugverkehr kontrollieren, sondern lediglich bei Fehlverhalten von Luftfahrzeugführern oder der Bodenkontrolle oder bei fehlender Bodenkontrolle eine Kollision verhindern und die Wahl einer Ausweichroute unterstützen.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß das voraussichtliche Verhalten von mehr als zwei beteiligten Luftfahrzeugen berücksichtigt wird und daß keine Gefährdung Dritter erfolgt, insbesondere dann nicht, wenn alle beteiligten Luftfahrzeuge mit Einrichtungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgerüstet sind.

45 [0011] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist eine für den Luftfahrzeugführer leicht erfaßbare Darstellung der Risikopotentiale möglich. Dies kann insbesondere dadurch geschehen, daß die Raumelemente mit der jeweils berechneten Aufenthaltswahrscheinlichkeit des eigenen Luftfahrzeugs und der anderen Objekte graphisch auf einer Anzeigegerrichtung dargestellt werden und/oder daß Raumelemente, für die die Kollisionswahrscheinlichkeit einen vorgegebenen Wert übersteigt, hervorgehoben dargestellt werden.

50 [0012] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner zur Vermeidung von Kollisionen für das eigene Luftfahrzeug eine Ausweichroute berechnet und angezeigt werden, wenn für mindestens ein Raumelement die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Aufenthalts des eigenen und mindestens eines anderen Objekts einen vorgegebenen Wert übersteigt.

55 [0013] Eine vorteilhafte Weiterbildung ermöglicht eine besonders günstige Berechnung einer Ausweichroute dadurch, daß probehalber mehrere Ausweichrouten mit von Ausweichroute zu Ausweichroute steigender Auslenkung nach anerkannten oder festgelegten Ausweichregeln berechnet werden, daß diejenige berechnete Ausweichroute aus-

gewählt und angezeigt oder in ein Steuerkommando umgesetzt wird, die bei kleinster Auslenkung eine Wahrscheinlichkeit einer gefährlichen Begegnung unterhalb eines vorgegebenen Schwellwertes ergibt und daß bei Erreichen einer Grenzauslenkung, ohne daß sich die Wahrscheinlichkeit einer gefährlichen Begegnung entsprechend verringert, Ausweichrouten in eine andere Richtung berechnet werden.

5 [0014] Zur Erkennung des Kollisionsrisikos mit anderen Luftfahrzeugen ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, daß für andere innerhalb einer relevanten Entfernung befindliche Luftfahrzeuge Aufenthaltswahrscheinlichkeiten berechnet werden.

[0015] Gemäß einer anderen Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß bodenfeste Objekte bei der Darstellung der Raumelemente und/oder bei der Berechnung von Ausweichrouten mit einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 1 berücksichtigt werden. Diese Objekte, beispielsweise Bauwerke oder Bodenerhebungen, können in einer Datenbank gespeichert sein und jeweils für einen betrachteten Luftraum abgerufen werden.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren kann somit derart ausgebildet sein, daß es ohne Datenbank für bodenfeste Objekte als reines Traffic Collision Avoidance System arbeitet oder mit Datenbank Kollisionsrisiken am Boden und in der Luft erfaßt. Schließlich kommt auch eine Ausbildung als Ground Collision Avoidance System in Frage, bei der in der Luft befindliche andere Luftfahrzeuge nicht erfaßt werden.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren hat ferner den Vorteil, daß es auch bei Bewegungen am Boden zur Verhinderung von gefährlichen Begegnungen bzw. Kollisionen benutzt werden kann, wobei feste Hindernisse in einer Datenbank gespeichert sind und Kraftfahrzeuge in ähnlicher Weise wie andere Luftfahrzeuge behandelt werden können.

20 [0018] Die Raumelemente können an sich verschiedene Formen annehmen. Eine für die einzelnen Berechnungen vorteilhafte Ausführungsform sieht jedoch vor, daß die Raumelemente quaderförmig sind.

[0019] Eine andere Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Größe der Raumelemente variabel ist, wobei mit zunehmender Flughöhe die Größe ansteigt. Dabei ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Größe der Raumelemente in drei Klassen veränderbar ist, nämlich kleinste Raumelemente beim Rollen am Boden, mittlere Raumelemente bei Flughöhen unter 10.000 Fuß und große Raumelemente bei größeren Flughöhen. Damit wird die Größe der Raumelemente an die jeweils vorherrschende Geschwindigkeit und an die aufgrund der Verkehrs-dichte erforderliche Entfernungsgenauigkeit angepaßt.

[0020] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Wahrscheinlichkeiten - im folgenden auch Aufenthaltswahrscheinlichkeiten genannt - aus der jeweiligen Position, Kurs und Kurs über Grund des Luftfahrzeugs, der Fluggeschwindigkeit und der Geschwindigkeit über Grund, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit berechnet werden, wobei eine Vielzahl von Berechnungen mit Variationen der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit durchgeführt wird. Insbesondere ist dabei vorgesehen, daß die zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten angenommenen Werte der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit statistisch variiert werden und daß bei jeder dieser Variationen Zähler für diejenigen Raumelemente inkrementiert werden, in welchen sich das Luftfahrzeug zu den ausgewählten Zeitpunkten befindet.

[0021] Bei der statistischen Variation der Geschwindigkeiten kann das Flugverhalten der jeweiligen Luftfahrzeuge berücksichtigt werden. So kann beispielsweise bei Großraumflugzeugen eine größere Trägheit und damit auch eine geringere Änderung der Fluggeschwindigkeit angenommen werden als beispielsweise bei Kampfflugzeugen.

40 [0022] Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Wahrscheinlichkeiten aus der jeweiligen Position, Kurs und Kurs über Grund des Luftfahrzeugs, der Fluggeschwindigkeit und der Geschwindigkeit über Grund, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit berech-net werden, wobei Maße für die statistische Streuung der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit mitgeführt werden, so daß zu jedem ausgewählten Zeitpunkt eine statistische Verteilung der Positionen des Flugzeugs berechnet wird, und daß die statistischen Verteilungen in Wahrscheinlichkeiten des Aufenthalts in einzelnen Raumelementen umgerechnet werden. Zur Durchführung dieser Berechnung stehen verschiedene analytische Rechenverfahren zur Verfügung.

50 [0023] Vorzugsweise ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, daß die zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erforderlichen Daten der anderen Luftfahrzeuge in den anderen Luftfahrzeugen gemessen und durch Datenübertragungssysteme zum eigenen Luftfahrzeug übertragen werden. Dieses setzt zwar voraus, daß die beteiligten Luftfahrzeuge mit geeigneten Übertragungssystemen ausgestattet sind; es werden jedoch dabei besonders ge-naue und zuverlässige Ergebnisse über die Bewegungen der anderen Flugzeuge gewonnen. Insbesondere wird bei einer allgemeinen Einführung des DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) eine hohe Genauigkeit der jeweiligen Positionsbestimmung möglich.

55 [0024] Für den Fall, daß die anderen Luftfahrzeuge nicht mit entsprechenden Einrichtungen versehen sind, ist es zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens jedoch auch möglich, daß die zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erforderlichen Daten der anderen Luftfahrzeuge durch Peilung oder durch wiederholte Positions meldungen der anderen Luftfahrzeuge (GPS-Sqitter) gewonnen werden.

[0025] Eine andere Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Wahrscheinlichkeiten nur für einen Luftraum berechnet werden, in dem sich das eigene Luftfahrzeug innerhalb eines alle ausgewählten Zeitpunkte umfassenden Zeitraums befinden kann. Damit ist die Zahl der Raumelemente, für die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten berechnet werden, begrenzt.

5 [0026] Zu einer verbesserten Abschätzung des Flugverhaltens der anderen Luftfahrzeuge kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen sein, daß bei der Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten mindestens eines anderen Luftfahrzeugs eine Reaktion des anderen Luftfahrzeugs nach dem erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigt wird.

10 [0027] Die Erfindung läßt zahlreiche Ausführungsformen zu. Eine davon ist schematisch in der Zeichnung anhand mehrerer Figuren dargestellt und nachfolgend beschrieben. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Luftraumes mit mehreren Luftfahrzeugen,

15 Fig. 2 ein Blockschaltbild einer Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 eine Darstellung einer Ebene des Erfassungsraumes mit einem Luftfahrzeug und dessen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten,

20 Fig. 4 eine seitliche Ansicht des Erfassungsraumes mit einem Luftfahrzeug und dessen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten,

Fig. 5 eine Ebene des Erfassungsraumes mit zwei Luftfahrzeugen und deren Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten,

25 Fig. 6 eine Seitenansicht des Erfassungsraumes mit einem Luftfahrzeug und mit bergigem Gelände und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten,

Fig. 7 die gleiche Flugsituation wie in Fig. 6, jedoch mit Gebäuden als Hindernis,

30 Fig. 8 ein Flußdiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 9 eine Darstellung zur Berechnung einer Ausweichroute und

35 Fig. 10 eine Darstellung zur Flugbahnberechnung.

[0028] Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0029] Bei der Darstellung nach Fig. 1 liegt das Luftfahrzeug 1 in einen Erfassungsraum 2 hinein, in welchem für das eigene Luftfahrzeug 1 selbst und für andere Luftfahrzeuge Aufenthaltswahrscheinlichkeiten berechnet werden, was später noch genauer beschrieben wird. Dazu werden von anderen Luftfahrzeugen Daten empfangen, die insbesondere die Position, Geschwindigkeit, die Kursänderungsgeschwindigkeit und die Steig/Sink-Geschwindigkeit betreffen. Der Erfassungsraum kann bei Vorliegen entsprechender Voraussetzungen auch die Position des eigenen Luftfahrzeugs 1 einschließen - beispielsweise, wenn dieses eine Kurve fliegt.

[0030] In die Berechnungen werden nur Luftfahrzeuge 3, 4, 5 einbezogen, die eine Entfernung vom eigenen Luftfahrzeug 1 aufweisen, bei welcher unter Berücksichtigung der Annäherungsgeschwindigkeit an das eigene Luftfahrzeug eine Gefährdung nicht völlig ausgeschlossen ist. Weiter entfernte Luftfahrzeuge 7, 8 können in absehbarer Zeit keine gefährliche Begegnung mit dem eigenen Luftfahrzeug 1 erleiden. Wenn nicht bereits die Entfernung zum eigenen Luftfahrzeug 1 zu groß für eine Datenübertragung ist, wird aufgrund der übertragenen Position und der eigenen Position für diese Luftfahrzeuge 7, 8 von einer weiteren Einbeziehung in die Berechnung abgesehen.

[0031] Das Luftfahrzeug 3 befindet sich zum betrachteten Zeitpunkt innerhalb des Erfassungsraumes 2. Für einen Teil 9 des Flugraums wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Aufenthalt des Luftfahrzeugs 3 zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb eines Zeitraums von beispielsweise 30 bis 90 Sekunden berechnet. Bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens am Boden sind kürzere Zeiten vorzuziehen.

[0032] Für ein außerhalb des Erfassungsraumes 2 liegendes Luftfahrzeug 4 ergibt die Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten einen Teilraum 10 innerhalb des Erfassungsraumes 2.

[0033] Die Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für das Luftfahrzeug 5 ergibt einen Teilraum 11, der vollständig außerhalb des Erfassungsraumes 2 liegt. Deshalb wird das Luftfahrzeug 5 ebenfalls außer Betracht gelassen. Das eigene Luftfahrzeug 1 bewegt sich während der vorgegebenen Zeit voraussichtlich in einem Teilraum 12.

[0034] Die Teilräume 9 bis 12 sind in Fig. 1 als mit eindeutigen Grenzen versehene Flächen dargestellt, obwohl die

Wahrscheinlichkeit bei Entfernung von Orten mit hoher Wahrscheinlichkeit allmählich gegen 0 gillt. Diese Darstellung erfolgte einerseits der Anschaulichkeit halber, entspricht aber insofern der tatsächlichen Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, als eine Berücksichtigung von Raumelementen mit einer äußerst geringen Aufenthaltswahrscheinlichkeit aus Gründen der Rechenkapazität nicht erfolgt - also nur Raumelemente mit einer oberhalb eines

5 Schwellwertes liegenden Aufenthaltswahrscheinlichkeit berücksichtigt werden.

[0035] Die in Fig. 2 dargestellte Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens besteht aus mehreren Einheiten, deren Funktion als solche grundsätzlich bekannt ist und die deshalb im einzelnen nicht weiter beschrieben wird. Eine Navigationseinheit 21 ist mit zwei Antennen 22, 23 versehen und empfängt Signale eines GNS-Systems, wie beispielsweise des Global Positioning Systems. Dabei ist die Antenne 22 zum Empfang von Satellitensignalen eingerichtet, während 10 über die Antenne 23 Differenzsignale zur Erhöhung der Genauigkeit der Positionsbestimmung empfangen werden können. In der Navigationseinheit 21 befinden sich noch weitere zur Navigation erforderliche Einrichtungen, beispielsweise ein Kompaß und ein Höhenmesser. Aus den empfangenen Daten und den Signalen des Kompasses und des Höhenmessers berechnet die Navigationseinheit die Position und Lage des Flugzeugs sowie die Änderungen dieser 15 Daten, insbesondere die Fluggeschwindigkeit, die Kursänderungsgeschwindigkeit und die Steig/Sink-Geschwindigkeit.

[0036] Diese Daten werden einem Hauptcomputer 24 zugeleitet, der über eine bidirektionale Datenverbindung mit einem Transponder 25 verbunden ist. Dieser ist eine Sende/Empfangs-Einheit mit einer oder mehreren Antennen 26 zum Austausch von Daten mit anderen Flugzeugen, Bodenstationen und Fahrzeugen. Derartige Datenübertragungssysteme sind an sich bekannt und brauchen im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung nicht näher erläutert 20 zu werden. Ein für das erfindungsgemäße Verfahren geeignetes System ist beschrieben im Tagungsband: The International Air Transport Association, Global Navcom '94, Genf, 18. bis 21. Juli 1994, J. Nilsson, Swedavia: "The Worldwide GNSS-Time Synchronized Self-Organising TDMA Data Link - A Key to the Implementation of Cost-Effective GNSS-Based CNS/ATM Systems!"

[0037] Sollte es im Einzelfall zweckmäßig sein, kann die Übertragung der von der Navigationseinheit 21 erzeugten 25 Daten, soweit sie zur Übertragung zu anderen Luftfahrzeugen vorgesehen sind, auch unmittelbar zum Transponder 25 erfolgen.

[0038] Die dargestellte Einrichtung umfaßt ferner eine Datenbank 27, in der unter anderem kartographische Daten zu dem überflogenen Gelände abgelegt sind. Da die Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der anderen Luftfahrzeuge vom Typ des jeweils anderen Luftfahrzeugs abhängig gemacht werden kann, können in der Datenbank 27 30 auch dazu erforderliche Daten der relevanten Luftfahrzeuge gespeichert werden. Solche Daten beschreiben im wesentlichen die Bewegungsfähigkeit des Luftfahrzeugs, wie beispielsweise die maximale Beschleunigung und die engsten Kurvenradien. Die in der Datenbank 27 gespeicherten Daten sind vom Hauptcomputer 24 entsprechend des jeweiligen Bedarfs abrufbar. Soweit die Daten unmittelbar zur graphischen Darstellung mit Hilfe des Displays 30 vorgesehen sind, können sie auch direkt einem Symbolgenerator 28 zugeleitet werden.

[0039] Der Hauptcomputer 24 ist ferner mit anderen Computern des Avionik-Systems 29 des Luftfahrzeugs verbunden, um für die Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten und der Ausweichrouten erforderliche Daten abfragen zu können. Ferner ist an den Hauptcomputer 24 ein Audiosystem zu Zwecken einer Sprachausgabe angeschlossen.

[0040] Zur Veranschaulichung verschiedener Werte der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten wurden die in den Figuren 3 bis 7 dargestellten Raumelemente verschieden dicht schraffiert, wobei eine dichte Schraffur eine hohe Aufenthalts-40 wahrscheinlichkeit wiedergibt. Nicht schraffierte Raumelemente weisen eine so geringe Aufenthalts wahrscheinlichkeit auf, daß sie bei der Ausgabe von Warnhinweisen und bei der Berechnung von Ausweichrouten nicht berücksichtigt werden. Bei den Darstellungen gemäß den Figuren 3 bis 7 wird jeweils angenommen, daß das Luftfahrzeug zu einem Zeitpunkt t_0 in den jeweils dargestellten Erfassungsraum einfliegt und daß zu diesem Zeitpunkt die für die Berechnung der Aufenthalts wahrscheinlichkeiten erforderlichen Größen gemessen, berechnet und im Falle der anderen Luftfahrzeuge zum eigenen Luftfahrzeug übertragen werden.

[0041] Für eine große Anzahl statistisch verteilter Werte und Wertekombinationen der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit werden jeweils Punkte innerhalb des Erfassungsraumes berechnet, welche das Luftfahrzeug zu ausgewählten Zeitpunkten einnimmt, nämlich $t = t_1 + n \cdot \delta t$, wobei n ganzzahlig ist und beispielsweise Werte zwischen 0 und 10 einnimmt, während sich für δt bei Erprobungen Werte zwischen 50 1 und 5 Sekunden als günstig herausgestellt haben. Die Berechnungen der Aufenthalts wahrscheinlichkeiten und der Ausweichrouten erfolgt wesentlich schneller, als die Fortbewegung des Luftfahrzeugs, so daß die Ergebnisse vorausschauend angezeigt bzw. weiterverarbeitet werden.

[0042] Bei dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel hat das Luftfahrzeug einen leichten Trend nach rechts, was die Verteilung der Aufenthalts wahrscheinlichkeiten über Raumelemente 33 im Zeitpunkt t_1 (Fig. 3a) nur ahnen lassen, was 55 sich jedoch nach $n \cdot \delta t$ deutlicher zeigt. Außerdem verteilen sich zum späteren Zeitpunkt die Aufenthalts wahrscheinlichkeiten wegen des größeren Vorhersagezeitraumes auf eine größere in Fig. 3b dargestellte Fläche - d.h. in Wirklichkeit über einen größeren Raum.

[0043] Die Figuren 4a und 4b zeigen ebenfalls zu zwei verschiedenen Zeitpunkten die Aufenthalts wahrscheinlich-

keiten in einzelnen Raumelementen 33, jedoch als Seitenansicht. Während in den Figuren 3a und 3b die Raumelemente quadratisch dargestellt sind, zeigen dann die Figuren 4a und 4b rechteckige Raumelemente. Dieses berücksichtigt, daß im Luftverkehr die einzelnen Flugebenen dicht übereinander liegen, so daß eine genaue Einhaltung der Höhe in kontrollierten Luftstraßen erforderlich ist. Es hat sich daher bei Untersuchungen zum erfindungsgemäßen Verfahren als günstig herausgestellt, die Höhe der Raumelemente im Bereich von etwa 200 m oder weniger zu wählen und die waagerechten Abmessungen, die vorzugsweise von der Flughöhe der Luftfahrzeuge abhängig sind, können am Boden etwa 100 m betragen, was etwa der Größe eines größten Luftfahrzeugs entspricht, und in Höhen bis zu 10.000 Fuß etwa 900 m.

[0044] An der Verteilung der Wahrscheinlichkeiten über die Raumelemente 33 kann man erkennen, daß sich das Luftfahrzeug 1 in einem leichten Sinkflug befindet, was sich bei der Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zum Zeitpunkt $t = t_1$ nur äußerst gering, in dem um $n \cdot \delta t$ späteren Zeitpunkt jedoch deutlich in Erscheinung tritt.

[0045] Die Figuren 5a und 5b stellen die Verteilungen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit zweier Luftfahrzeuge 1, 34, die sich begegnen, zu zwei verschiedenen Zeitpunkten dar. Zum Zeitpunkt t_1 sind die Luftfahrzeuge 1, 34 soweit entfernt, daß mit einer Wahrscheinlichkeit, daß sich die Luftfahrzeuge im gleichen Raumelement aufhalten, nicht gerechnet wird. An der Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Luftfahrzeugs 1 kann auf einen Geradeausflug in der durch das Flugzeugsymbol angegebenen Richtung geschlossen werden. Das Luftfahrzeug 34 befindet sich jedoch in einer Rechtskurve, welche die als gerade angenommene Flugbahn des Luftfahrzeugs 1 möglicherweise schneidet. Dieses zeigt die Vorausberechnung um $n \cdot \delta t$ nach Fig. 5b. Zu diesem Zeitpunkt ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich beide Luftfahrzeuge 1, 34 in einem der Raumelemente 35, 36 befinden, nicht mehr zu vernachlässigen.

[0046] Dieses kann in ähnlicher Weise, wie in Fig. 5b dargestellt, auf einem Display angezeigt werden. Dabei können beispielsweise die Felder 35, 36 mit einer Warnfarbe versehen sein. Die in Fig. 5b durch die unterschiedliche Schraffurdichte dargestellten unterschiedlichen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten sind ebenfalls auf dem Display erkennbar, damit der Pilot eine Ausweichroute wählen kann, welche die Raumelemente mit hoher Aufenthaltswahrscheinlichkeit des anderen Luftfahrzeugs meidet. Eine automatische Ermittlung eines Vorschlags für eine Ausweichroute wird später im Zusammenhang mit Fig. 9 erläutert.

[0047] Die Figuren 6a und 6b zeigen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten eines Luftfahrzeugs 1 als Seitenansicht. Das Luftfahrzeug 1 fliegt über ein teils ebenes, teils hügeliges Gelände, das durch eine Linie 37 dargestellt ist. Jedes der Raumelemente 38, in die das Gelände mindestens hineinragt, sind mit einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 1 belegt. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Luftfahrzeugs 1 entsprechen denjenigen in Fig. 4. Zum Zeitpunkt $t = t_1$ ergeben sich noch keine relevanten Wahrscheinlichkeiten dafür, daß das Luftfahrzeug sich in Raumelementen befindet, die auch vom Gelände belegt sind. Dieses hat sich jedoch zum Zeitpunkt $n \cdot \delta t$ wesentlich geändert, was an der doppelten Schraffur der Raumelemente 38, 39 und 40 erkennbar ist. Wenn dieser Zustand eintritt, erhält der Pilot des Luftfahrzeugs 1 eine geeignete Warnung, die aus einer Darstellung gemäß Fig. 6b, einer anderen geeigneten optischen oder einer akustischen Anzeige besteht.

[0048] Geht man davon aus, daß die bezeichnete Erhöhung des Geländes 37 punktförmig ist, so daß ein seitliches Umfliegen möglich ist, wird eine Ausweichrouten-Empfehlung des Computers eine Kursänderung nach rechts vorschlagen. Alternativ kommt eine Kursänderung nach links oder notfalls auch ein Vorschlag zum Steigen auf eine größere Flughöhe in Frage.

[0049] Fig. 7 stellt die gleiche Flugsituation eines Luftfahrzeugs 1 bei Annäherung an ein Luftfahrthindernis 41 dar, wobei zu der Zeit $t_1 + n \cdot \delta t$ eine nicht zu vernachlässigende Wahrscheinlichkeit besteht, daß das Luftfahrzeug 2 sich gemeinsam mit dem Gebäudekomplex in den Raumelementen 42, 43, 44 befindet. Gegenüber der Bodenerhebung gemäß Fig. 6 sind jedoch die Gebäude niedriger, so daß auch eine Empfehlung an den Piloten des Luftfahrzeugs 1 lauten kann, daß er auf jeden Fall die derzeitige Flughöhe einhalten soll.

[0050] Fig. 8 zeigt in Form eines Flußdiagramms den Ablauf eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens. Nach einem Start bei 51 erfolgt eine Initialisierung bei 52. Danach werden bei 53 die Daten des eigenen Luftfahrzeugs DAT.E eingelesen und in ein eigenes Koordinatensystem mit zur weiteren Berechnung günstigen Einheiten konvertiert. Bei 54 wird der Luftraum L initialisiert, das heißt im wesentlichen der Erfassungsraum 2 festgelegt. Bei 55 werden Daten fremder Luftfahrzeuge DAT.F eingelesen und konvertiert. Bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens am Boden können hier Daten anderer Fahrzeuge, wie Kraftfahrzeuge und Luftfahrzeuge, eingelesen und konvertiert werden.

[0051] Im Programmteil 56 werden die Daten fremder Luftfahrzeuge nach ihrer "zeitlichen" Entfernung sortiert, wobei weit entfernte Luftfahrzeuge aussortiert werden. Danach erfolgt bei 57 die Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten AW.E und AW.F des eigenen Luftfahrzeugs und der nicht aussortierten Luftfahrzeuge.

[0052] Im Programmteil 58 wird ein Ausschnitt aus der Datenbank bestimmt, welche das Gelände und Luftfahrthindernisse enthält. Für diesen Ausschnitt werden bei 59 Raumelemente bestimmt, die durch Elemente der Datenbank,

also Luftfahrthindernisse oder Bodenerhebungen, belegt sind und daher die Aufenthaltswahrscheinlichkeit AW.H = 1 erhalten.

[0053] Bei 60 werden Kollisionswahrscheinlichkeiten KW berechnet, das heißt Wahrscheinlichkeiten, mit denen sich gleichzeitig mit dem eigenen Luftfahrzeug mindestens ein anderes Luftfahrzeug oder ein anderes Objekt jeweils in einem Raumelement RE befindet. Danach verzweigt sich das Programm bei 61 in Abhängigkeit davon, ob eine der berechneten Kollisionswahrscheinlichkeiten größer als ein vorgegebener Wert KWS ist. Ist dieses der Fall, wird bei 62 eine Ausweichroute AR bestimmt, die bei 63 gegebenenfalls zusammen mit einer Darstellung des Konfliktgebietes RE(AW.F,AW.H) ausgegeben wird. Danach und im nicht zutreffenden Fall nach der Verzweigung 61 wird nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit T bei 64 das Programm bei 53 beginnend wiederholt.

[0054] Fig. 9 dient zur Erläuterung der Bestimmung einer Ausweichroute, wobei in einem vorangegangenen Schritt das Risiko einer Kollision dadurch erkannt wurde, daß die Kollisionswahrscheinlichkeit für ein oder mehrere Raumelemente einen zulässigen Wert überschritten, wie es beispielsweise in Fig. 5b für die Raumelemente 35, 36 dargestellt ist. Fig. 9 zeigt eine Draufsicht des Erfassungsraumes 2 für eine ausgewählte Höhe mit einem eigenen Luftfahrzeug 1 und einem fremden Luftfahrzeug 3. Ferner befindet sich im Erfassungsraum 2 eine Bodenerhebung 71, welche die Belegung von sechs Raumelementen mit einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 1 zur Folge hat. Außerdem ragt ein Gewitter 72 in den Erfassungsraum 2 hinein, dessen Aufenthaltswahrscheinlichkeit für ein Raumelement relativ hoch ist und nach außen hin abnimmt.

[0055] Außerdem sind in Fig. 9 die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Luftfahrzeugs 3 dargestellt, wobei im Raumelement 79 für das Luftfahrzeug 3 eine relativ hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit herrscht.

[0056] Es sei angenommen, daß ein Erkennen eines Kollisionsrisikos das Luftfahrzeug 1 ohne Kurskorrektur eine durch den Pfeil 73 dargestellte Kurve fliegen wird. Entsprechend den allgemeinen Ausweichregeln werden probehalber Ausweichrouten 74 bis 76 mit kleiner werdenden Kurvenradien berechnet.

[0057] Ausweichroute 77 stellt ein Ausweichmanöver dar, das eine zu hohe Drehgeschwindigkeit erfordert und deswegen nicht vorgeschlagen wird. Bei Ausweichroute 78 wird noch ein Raumelement durchflogen, dessen Aufenthaltswahrscheinlichkeit für das fremde Luftfahrzeug 3 nicht vernachlässigbar ist, aber unterhalb einer festgelegten, noch tolerierbaren Schwelle liegt, so daß dem Piloten des Luftfahrzeugs 1 beispielsweise diese Route vorgeschlagen wird.

[0058] Die Bewegungsgleichungen ergeben sich nach den Figuren 10 und 11. Als raumfestes Koordinatensystem für die Bestimmung der Aufenthaltsorte wird das System gewählt, dessen xy-Ebene mit dem des geodätischen Systems zusammenfällt und dessen x-Achse nach dem Kurs des eigenen Luftfahrzeugs zum Anfangszeitpunkt der Betrachtung ausgerichtet ist (Index e). Es wird bei der Betrachtung der Bewegung davon ausgegangen, daß der Windvektor für den Vorhersagezeitraum konstant ist. Da die Fluggeschwindigkeit gegenüber der Luft die bestimmende Größe für die Flugführung und Flugsicherung ist, wird angenommen, daß der Betrag $V_A = |\vec{V}_A|$ nur geringen Änderungen unterworfen ist, die entsprechend für die Vorhersage modelliert werden. Dadurch ergibt sich die Geschwindigkeit über Grund als "freie" Größe, die erhebliche Änderungen nach Betrag und Richtung erfahren kann. Damit ergibt sich für die $x_e y_e$ -Ebene

35

$$\vec{V}_G(t) = \vec{V}_W + \vec{V}_A(t)$$

40

[0059] Die Geschwindigkeit gegenüber der Luft ist entlang der x_a -Achse des aerodynamischen Achsensystems ausgerichtet. Für $\beta = 0$ fällt die $x_a z_a$ -Ebenen mit der $x_e z_e$ -Ebene zusammen. Damit gilt für die in der Horizontalebene dargestellte Geschwindigkeit $\vec{V}_A' = \vec{V}_A \cdot \cos \gamma$.

45

[0060] Setzt man $\cos \gamma = 1$, so liegt der Fehler bis zu $\gamma = 16^\circ$ unter 4%, was durch eine angenommene Unsicherheit für V_A mit berücksichtigt werden kann, sodaß für die folgenden Betrachtungen gilt

$$\vec{V}_A' \approx \vec{V}_A$$

50

[0061] Die folgenden Bestimmungsgleichungen für die Geschwindigkeit gelten zunächst für das e-System jedes beteiligten Luftfahrzeugs mit $i = [0, 1, \dots, n]$, wobei für das eigene Luftfahrzeug $i = 0$ gilt.

55

$$\vec{V}_{A,i} = V_{A,i} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

5

$$\bar{V}_{G,i} = \begin{bmatrix} \cos(\psi_{H,i} - \psi_{T,i}) & \sin(\psi_{H,i} - \psi_{T,i}) \\ -\sin(\psi_{H,i} - \psi_{T,i}) & \cos(\psi_{H,i} - \psi_{T,i}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{G,i} \\ 0 \end{bmatrix}$$

10

$$\bar{V}_{W,i} = V_{G,i} \begin{bmatrix} \cos(\psi_{H,i} - \psi_{T,i}) \\ -\sin(\psi_{H,i} - \psi_{T,i}) \end{bmatrix} - V_{A,i} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{Wx,i} \\ V_{Wy,i} \end{bmatrix}$$

15 [0062] Die Geschwindigkeitsvektoren $\bar{V}_{A,i}$, $\bar{V}_{W,i}$ müssen in das für die Prädiktion festgelegte e-Koordinatensystem des eigenen Luftfahrzeugs transformiert werden. Es gilt

20

$$\bar{V}_{A,i}^{(e)} = V_{A,i} \begin{bmatrix} \cos(\psi_{H,0} - \psi_{H,i}) \\ -\sin(\psi_{H,0} - \psi_{H,i}) \end{bmatrix}, \text{ für } t = 0$$

25

$$\bar{V}_{W,i}^{(e)} = \begin{bmatrix} \cos(\psi_{H,0} - \psi_{H,i}) & \sin(\psi_{H,0} - \psi_{H,i}) \\ -\sin(\psi_{H,0} - \psi_{H,i}) & \cos(\psi_{H,0} - \psi_{H,i}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Wx,i} \\ V_{Wy,i} \end{bmatrix}, \text{ mit } \bar{V}_{W,i}^{(e)} \neq f(t).$$

30 wobei die Kurswinkel keine Funktion der Zeit sind, sondern die Kurswinkel zum Beginn des Betrachtungszeitraumes wiedergeben.

35 [0063] Die Bewegung der Luftfahrzeuge während der Prädiktion wird bestimmt durch die veränderlichen Größen \bar{V}_A , V_{VS} , ψ^* und dem nach Betrag und Richtung als konstant angenommenen Windvektor. Durch die Kursänderung aufgrund von ψ^* wird der Fluggeschwindigkeitsvektor gedreht, sodaß sich für $\bar{V}_{A,i}^{(e)}$ die zeitabhängige Bestimmungsgleichung ergibt

35

$$40 \quad \bar{V}_{A,i}^{(e)}(t) = V_{A,i} \begin{bmatrix} \cos(\psi_{H,0} - \psi_{H,i} - \psi_i^* t) \\ -\sin(\psi_{H,0} - \psi_{H,i} - \psi_i^* t) \end{bmatrix}$$

[0064] Für die Geschwindigkeit über Grund ergibt sich danach im e-System

45

$$\bar{V}_{G,i}^{(e)}(t) = \bar{V}_{W,i}^{(e)} + \bar{V}_{A,i}^{(e)}(t)$$

50 [0065] Die Positionsänderung in der $x_e y_e$ -Ebene lässt sich nun bestimmen nach

55

$$\Delta \bar{P}_i^{(e)}(t) = \int_0^t \bar{V}_{G,i}^{(e)}(\tau) d\tau$$

Mit $\Delta\psi_{H,i} = \psi_{H,0} - \psi_{H,i} \neq f(t)$ folgt für die x- und y-Komponente

$$5 \quad \Delta P_{x,i}^{(e)}(t) = \int_0^t (V_{Wx,i}^{(e)} + V_{A,i} \cos(\Delta\psi_{H,i} - \psi_i^\circ \cdot \tau)) d\tau$$

$$10 \quad \Delta P_{y,i}^{(e)}(t) = \int_0^t (V_{Wx,i}^{(e)} - V_{A,i} \sin(\Delta\psi_{H,i} - \psi_i^\circ \cdot \tau)) d\tau$$

[0066] Für die z-Komponente gilt die einfache Beziehung

$$15 \quad \Delta P_{z,i}^{(e)}(t) = \int_0^t -V_{VS,i} d\tau$$

20 [0067] Mit Hilfe der bekannten Additionstheoreme für trigonometrische Funktionen führen die Integralgleichungen auf die Bestimmungsgleichungen für die Positionänderung. Mit den Anfangsbedingungen ergeben sich daraus die drei Gleichungen für die Positionsbestimmung, wobei für das eigenen Luftfahrzeug $\Delta\psi_{H,i} = 0$ gilt.

$$25 \quad p_{x,i}^{(e)}(t) = V_{Wx,i}^{(e)} \cdot t + \frac{V_{A,i} \cdot \cos(\Delta\psi_{H,i})}{\psi_i^\circ} \cdot \sin(\psi_i^\circ \cdot t) + \frac{V_{A,i} \cdot \sin(\Delta\psi_{H,i})}{\psi_i^\circ} \cdot (1 - \cos(\psi_i^\circ \cdot t)) + p_{0x,i}^{(e)}$$

$$30 \quad p_{y,i}^{(e)}(t) = V_{Wy,i}^{(e)} \cdot t - \frac{V_{A,i} \cdot \sin(\Delta\psi_{H,i})}{\psi_i^\circ} \cdot \sin(\psi_i^\circ \cdot t) + \frac{V_{A,i} \cdot \cos(\Delta\psi_{H,i})}{\psi_i^\circ} \cdot (1 - \cos(\psi_i^\circ \cdot t)) + p_{0y,i}^{(e)}$$

$$p_{z,i}^{(e)}(t) = -V_{VS,i} \cdot t + p_{0z,i}^{(e)}$$

35 [0068] Die Bestimmung des Aufenthaltsortes eines Fahrzeugs ist von einer Reihe von Unsicherheiten gekennzeichnet. Je nach verwendeten Navigationseinrichtungen und -verfahren werden Genauigkeiten bei der Positionsbestimmung von unter einem Meter bis hin zu mehreren Kilometern erreicht. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, daß alle beteiligten Fahrzeuge mit Navigationssystemen ausgerüstet sind, die folgende Genauigkeiten 40 bei der Positionsbestimmung erreichen:

| | | |
|---|----------------------|---------------------|
| Für den Reiseflug, bzw. Flughöhe über FL100 | $\Sigma_{xy} < 100m$ | $\Sigma_z < 30m$ |
| Für alle übrigen Flugabschnitte | $\Sigma_{xy} < 30m$ | $\Sigma_z < 30m$ |
| Für alle Bewegungen am Boden | $\Sigma_{xy} < 3m$ | Detektion On Ground |

45 [0069] Für die Prädiktion des Aufenthaltsortes ergeben sich zusätzliche Unsicherheiten durch atmosphärische Einflüsse und die Steuereingaben des Fahrzeugführers bzw. eines Autopiloten. Weiterhin müssen die Abmessungen des Fahrzeugs, die bei Großraumflugzeugen in der Größenordnung von 70m für Länge und Breite (Spannweite) liegen, - insbesondere bei Bewegungen am Boden - mitberücksichtigt werden. Für die Bestimmung eines Kollisionsrisikos ist daher der Aufenthaltsort nicht im Sinne eines Punktes im euklidischen Raum von Bedeutung, sondern als Wahrscheinlichkeit, mit der sich das betrachtete Objekt in einem diskreten Teilvolumen des Luftraums aufhält. Dazu wird der sich um das zu betrachtende Luftfahrzeug befindliche Luftraum L in diskrete Raumelemente aufgeteilt. Die Ausdehnung des Luftraums wird dabei abhängig von der Geschwindigkeit, dem Manöverpotential und der Flugphase des Luftfahrzeugs gewählt. L hat die Dimension

$$55 \quad L := [1..n_x] \times [1..n_y] \times [1..n_z]$$

Der Luftraum besteht somit aus $n_x \cdot n_y \cdot n_z$ Raumelementen. Die Einführung von Raumelementen ist außer in Form von Quadern in Form von Kugelschalsegmenten oder von Hexaederen, die für jedes Teilelement ein gleiches Volumen erzeugen, möglich. Um ein Kollisionsrisiko bestimmen zu können, muß nun für jedes Raumelement von L , die Aufenthaltswahrscheinlichkeit aller in Frage kommender Objekte bestimmt werden. Dazu wird im folgenden ein Verfahren erläutert.

[0070] Wie in den Gleichungen für die Positionsbestimmung angegeben ist der Ort $\bar{p}(t)$, den ein Luftfahrzeug zu einer bestimmten Zeit erreicht, von der Fluggeschwindigkeit V_A , der Vertikalgeschwindigkeit V_{VS} und der Drehgeschwindigkeit ψ_H abhängig. Diese Geschwindigkeiten können innerhalb des Vorhersagezeitraumes Änderungen unterliegen, sodaß sich gegenüber dem Ort, der sich aus einer rein flugmechanischen Betrachtung ergibt, erhebliche Abweichungen ergeben. Während die Fluggeschwindigkeit - außer bei Start und Landung - meist nur geringen Änderungsgeschwindigkeiten unterworfen ist, kann sich die Drehgeschwindigkeit innerhalb von Sekunden stark ändern, wie z.B. bei der Einleitung eines Kurvenflugs.

Um die stochastischen Einflüsse zu berücksichtigen, wird für die Berechnung des Aufenthaltsortes statt konstanten Geschwindigkeiten Wahrscheinlichkeitsfunktionen für die drei genannten Geschwindigkeiten eingeführt, wodurch $\bar{p}(t)$ keine deterministische Größe mehr ist.

An sich ist eine symmetrische, dreiecksförmige Wahrscheinlichkeitsfunktion möglich. Dabei hat die Geschwindigkeit zum Anfangszeitpunkt t_0 der Betrachtung die höchste Wahrscheinlichkeit, die dann in einem zu definierenden Intervall nach rechts und links auf Null abfällt. Bewegt sich das Luftfahrzeug jedoch nahe an einer Maximal- oder Minimalgeschwindigkeit, so ergibt eine symmetrische Dreiecksverteilung hohe Wahrscheinlichkeiten für Geschwindigkeiten, die aufgrund flugphysikalischer Bedingungen nicht erfolgen werden können. Auch kann die symmetrische Dreiecksverteilung ein konservatives Verhalten, d.h. eine Änderung der momentanen Geschwindigkeit hat eine geringe Wahrscheinlichkeit, nur unzureichend wiedergeben. Es hat sich daher eine Wahrscheinlichkeitsdichte bewährt, bei welcher die Wahrscheinlichkeiten in der Nähe des Maximums zu beiden Seiten stark und im weiteren Verlauf weniger stark und unsymmetrisch abfallen.

[0071] Das Luftfahrzeug bewege sich zu einem Zeitpunkt t_0 mit einer Fluggeschwindigkeit V_c . Die Wahrscheinlichkeit p_c , daß diese Geschwindigkeit innerhalb des Betrachtungszeitraumes beibehalten wird, ist am höchsten und stellt somit das Maximum der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(x)$ dar. Der hohe Gradient im Intervall $V_b \leq x \leq V_t$ gibt das konservative Verhalten wieder. Die Wahrscheinlichkeit p fällt zu den Grenzgeschwindigkeiten V_{\min} , V_{\max} stetig ab und ist außerhalb des Intervalls $V_{\min} \leq x \leq V_{\max}$ $p = 0$. Die in sechs Abschnitten definierte Wahrscheinlichkeitsfunktion ist mit den oben beschriebenen Parametern wie folgt definiert:

$$f(x) = \{$$

$$35 \quad 0 \quad x < V_{\min} \quad (1)$$

$$40 \quad \frac{p_b}{V_b - V_{\min}} (x - V_{\min}) \quad V_{\min} \leq x < V_b \quad (2)$$

$$45 \quad \frac{p_c - p_b}{V_c - V_b} (x - V_b) + p_b \quad V_b \leq x < V_c \quad (3)$$

$$50 \quad -\frac{p_c - p_t}{V_t - V_c} (x - V_c) + p_c \quad V_c \leq x < V_t \quad (4)$$

$$- \frac{p_t}{V_{\max} - V_t} (x - V_t) + p_t \quad V_t \leq x \leq V_{\max} \quad (5)$$

$$0 \quad x > V_{\max} \quad (6)$$

}

[0072] Dabei sind V_{\min} und V_{\max} die minimale und maximale Fluggeschwindigkeit, V_c die Geschwindigkeit mit der höchsten Wahrscheinlichkeit und V_b und V_t die Geschwindigkeiten bei den Übergängen zwischen starkem und weniger starkem Abfall.

Die Definition von $f(x)$ ist gültig für $V_t \leq V_{\max}$ und $V_b \geq V_{\min}$. Wird $V_t > V_{\max}$ so entfällt Abschnitt (5) der Definition und Abschnitt (4) gilt für $V_c \leq x \leq V_{\max}$. Entsprechendes gilt für die Annäherung von V_c an V_{\min} . Die Verteilungsfunktion ergibt sich nach

5

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du.$$

10

Die abschnittsweise Integration liefert die Bestimmungsgleichungen für $F(x)$.

15

$$F(x) = \{$$

0

$$x < V_{\min} \quad (1)$$

20

$$\frac{p_b}{2(V_b - V_{\min})} (x - V_{\min})^2$$

$$V_{\min} \leq x < V_b \quad (2)$$

$$\frac{p_c - p_b}{2(V_c - V_b)} (x - V_b)^2 + p_b x - p_b V_b + s_1$$

$$V_b \leq x < V_c \quad (3)$$

25

$$\frac{p_t - p_c}{2(V_t - V_c)} (x - V_c)^2 + p_c x - p_c V_c + s_1 + s_2$$

$$V_c \leq x < V_t \quad (4)$$

30

$$-\frac{p_t}{2(V_{\max} - V_t)} (x - V_t)^2 + p_t x - p_t V_t + s_1 + s_2 + s_3$$

$$V_t \leq x \leq V_{\max} \quad (5)$$

1

$$x > V_{\max} \quad (6)$$

35

}

[0073] Dabei geben die Größen s_i die Teilflächen unterhalb $f(x)$ an.

Zur Bestimmung der Position eines Luftfahrzeugs muß die Zufallsvariable x , die eine Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t_0 + \Delta t$ angibt, ermittelt werden. Zieht man die Zufallsvariable n -mal, so können nach den oben angegebenen Bewegungsgleichungen n neue Positionen bestimmt. Damit kann die Wahrscheinlichkeit, daß sich das Luftfahrzeug zum Zeitpunkt $t_0 + \Delta t$ in einem bestimmten Teilraum des Luftraumes L aufhält, ermittelt werden. Neben der aktuellen Geschwindigkeit V_c sind die Größen V_{\max} und V_{\min} durch die Konfiguration des Luftfahrzeugs festgelegt. Durch die Wahl von V_b und V_t und des Verhältnisses p_c / p_t mit $p_b = p_t$ ist die Wahrscheinlichkeitsfunktion bestimmt. Durch eine geeignete Wahl dieser Größen läßt sich auch die zu erwartende Bewegungsdynamik eines Luftfahrzeuges abbilden. Wählt man p_c / p_t klein, so sind hohe Geschwindigkeitsänderungen innerhalb des Betrachtungszeitraumes zu erwarten. Ein großes Verhältnis p_c / p_t dagegen führt zu dem bereits erwähnten konservativen Verhalten.

[0074] Da Rechner in der Regel nur rechteckverteilte ($R[0,1]$) Zufallsvariablen liefern, sollte die Bestimmung der Zufallsvariable mittels der Invertierungsmethode erfolgen. Es gilt, daß eine Variable y wie F verteilt ist, wenn y bestimmt wird nach

$$y = F^{-1}(u),$$

55

wobei u eine $R[0,1]$ verteilte Zufallsvariable ist. Die Bestimmung der Umkehrfunktion für die abschnittsweise streng monoton verlaufende Funktion führt für jeden Abschnitt zu einer quadratischen Gleichungen, die sich mittels der pq-Formel einfach lösen läßt. Die Bestimmungsgleichungen für die vier Abschnitte der Umkehrfunktion lauten wie folgt:

| p | q | |
|--|--|-----|
| 5 $-2V_{\min}$ | $V_{\min}^2 - \frac{2y}{p_b}(V_b - V_{\min})$ | (2) |
| 10 $2 \cdot \left(\frac{p_b(V_c - V_b)}{p_c - p_b} - V_b \right)$ | $V_b^2 + 2 \frac{V_c - V_b}{p_c - p_b} \cdot (s_1 - y - p_b V_b)$ | (3) |
| 15 $2 \cdot \left(\frac{p_c(V_t - V_c)}{p_t - p_c} - V_c \right)$ | $V_c^2 + 2 \frac{V_t - V_c}{p_t - p_c} \cdot (s_1 + s_2 - y - p_c V_c)$ | (4) |
| 20 $-2V_{\max}$ | $V_t^2 + 2 \frac{V_{\max} - V_t}{p_t} \cdot (s_1 + s_2 + s_3 - y - p_t V_t)$ | (5) |

20 [0075] Die Zufallsvariable berechnet sich damit nach

$$25 x = \frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

30 [0076] Für die Abschnitte (2) und (3) ergibt sich die Zufallsvariable durch Addition des Wurzelterms, für (4) und (5) ergibt sich x durch Subtraktion. Damit ergibt sich für eine genügend hohe Anzahl von Ziehungen einer $\mathbb{R}[0,1]$ verteilten Zufallsvariable eine für das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhafte Verteilung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung eines Kollisionsrisikos in der Luftfahrt, dadurch gekennzeichnet,
- 35 - daß für das jeweils eigene Luftfahrzeug (1) Wahrscheinlichkeiten berechnet werden, mit welchen sich das Luftfahrzeug (1) zu mehreren ausgewählten Zeitpunkten in vorgegebenen Raumelementen (33) befinden wird, (Aufenthaltswahrscheinlichkeiten) und
- 40 - daß aus den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des eigenen Luftfahrzeugs und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von anderen Objekten (3, 4, 41) die Wahrscheinlichkeiten des gleichzeitigen Aufenthalts des eigenen Luftfahrzeugs (1) und mindestens eines der anderen Objekte (3, 4, 41) in jeweils einem Raumelement (Kollisionswahrscheinlichkeiten) für die vorgegebenen Raumelemente (33) und die ausgewählten Zeitpunkte berechnet werden.
- 45 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Raumelemente (33) mit der jeweils berechneten Aufenthaltswahrscheinlichkeit des eigenen Luftfahrzeugs (1) und der anderen Objekte (3, 4, 41) graphisch auf einer Anzeigevorrichtung (30) dargestellt werden.
- 50 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß Raumelemente (35, 36), für die die Kollisionswahrscheinlichkeit einen vorgegebenen Wert übersteigt, hervorgehoben dargestellt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- 55 - daß zur Vermeidung von Kollisionen für das eigene Luftfahrzeug (1) eine Ausweichroute berechnet und angezeigt wird, wenn für mindestens ein Raumelement die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Aufenthalts des eigenen und mindestens eines anderen Objekts (3) einen vorgegebenen Wert übersteigt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß probehalber mehrere Ausweichrouten (74 bis 78) mit

von Ausweichroute zu Ausweichroute steigender Auslenkung nach anerkannten oder festgelegten Ausweichregeln berechnet werden, daß diejenige berechnete Ausweichroute (78) ausgewählt und angezeigt oder in ein Steuerkommando umgesetzt wird, die bei kleinsten Auslenkungen eine Wahrscheinlichkeit einer gefährlichen Begegnung unterhalb eines vorgegebenen Schwellwertes ergibt und daß bei Erreichen einer Grenzauslenkung, ohne daß sich die Wahrscheinlichkeit einer gefährlichen Begegnung entsprechend verringert, Ausweichrouten in eine andere Richtung berechnet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für andere innerhalb einer relevanten Entfernung befindliche Luftfahrzeuge Aufenthaltswahrscheinlichkeiten berechnet werden.

10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bodenfeste Objekte (41) bei der Darstellung der Raumelemente (33) und/oder bei der Berechnung von Ausweichrouten mit einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 1 berücksichtigt werden.

15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Raumelemente (33) quaderförmig sind.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe der Raumelemente (33) variabel ist, wobei mit zunehmender Flughöhe die Größe ansteigt.

20 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe der Raumelemente (33) in drei Klassen veränderbar ist, nämlich kleinste Raumelemente beim Rollen am Boden, mittlere Raumelemente bei Flughöhen unter 10.000 Fuß und große Raumelemente bei größeren Flughöhen.

25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten aus der jeweiligen Position, Kurs und Kurs über Grund des Luftfahrzeugs (1, 3, 4), der Fluggeschwindigkeit und der Geschwindigkeit über Grund, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit berechnet werden, wobei eine Vielzahl von Berechnungen mit Variationen der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit durchgeführt wird.

30 12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten angenommenen Werte der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit statistisch variiert werden und daß bei jeder dieser Variationen Zähler für diejenigen Raumelemente inkrementiert werden, in welchen sich das Luftfahrzeug (1, 3, 4) zu den ausgewählten Zeitpunkten befindet.

35 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeiten aus der jeweiligen Position, Kurs und Kurs über Grund des Luftfahrzeugs, der Fluggeschwindigkeit und der Geschwindigkeit über Grund, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit berechnet werden, wobei Maße für die statistische Streuung der Fluggeschwindigkeit, der Kursänderungsgeschwindigkeit und der Steig/Sink-Geschwindigkeit mitgeführt werden, so daß zu jedem ausgewählten Zeitpunkt eine statistische Verteilung der Positionen des Flugzeugs (1, 3, 4) berechnet wird, und daß die statistischen Verteilungen in Aufenthaltswahrscheinlichkeiten in einzelnen Raumelementen (33) umgerechnet werden.

40 45 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten erforderlichen Daten der anderen Luftfahrzeuge (3, 4) in den anderen Luftfahrzeugen (3, 4) gemessen und durch Datenübertragungssysteme (25) zum eigenen Luftfahrzeug (1) übertragen werden.

50 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erforderlichen Daten der anderen Luftfahrzeuge durch Peilung gewonnen werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erforderlichen Daten der anderen Luftfahrzeuge (3, 4) durch wiederholte Positionsmeldungen der anderen Luftfahrzeuge gewonnen werden.

55 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten nur für einen Luftraum (2) berechnet werden, in dem sich das eigene Luftfahrzeug (1) innerhalb eines alle ausgewählten Zeitpunkte umfassenden Zeitraums befinden kann.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten mindestens eines anderen Luftfahrzeugs (3, 4) eine Reaktion des anderen Luftfahrzeugs nach dem erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigt wird.

5

Claims

1. Process for detection of a collision risk in aviation, **characterised in that**

- 10 • for a respective own aircraft (1) probabilities are calculated at which the aircraft (1) will be at a plurality of selected points in time in specified space elements (33) (sojourn probabilities); and
- from the sojourn probabilities of the own aircraft and the sojourn probabilities of other objects (3, 4, 41) are calculated probabilities of simultaneous sojourn of the own aircraft (1) and at least one of the other objects (3, 4, 41) in a respective space element (collision probabilities) for specified space elements (33) and selected points in time.

2. Process according to Claim 1, **characterised in that** the space elements (33) are graphically displayed on a display (30) with a respective calculated sojourn probability of both the own aircraft (1) and the other objects (3, 4, 41).

3. Process according to Claim 2, **characterised in that** the space elements (35, 36) of which a collision probability exceeds a specified value are highlighted.

4. Process according to one of the above claims, **characterised in that**

- 25 • in order to prevent collisions, an evasive route for the own aircraft (1) is calculated and displayed if for at least one space element a probability of simultaneous sojourn of the own aircraft and at least one other object (3) exceeds a specified value.

5. Process according to Claim 4, **characterised in that** experimentally a plurality of evasive routes (74 to 78) with increasing deflection from evasive route to evasive route is calculated by approved or set evasive rules, that the calculated evasive route (78) is selected and displayed or converted into a control command which at smallest deflection offers a probability of a dangerous encounter below a specified threshold value, and when a limited deflection is arrived at without corresponding reduction of probability of a dangerous encounter, evasive routes into another direction are calculated.

6. Process according to one of the above claims, **characterised in that** sojourn probabilities for other aircraft within a relevant range are calculated.

7. Process according to one of the above claims, **characterised in that** ground objects (41) are taken into consideration with a sojourn probability of 1 when displaying the space elements (33) and/or when calculating evasive routes.

8. Process according to one of the above claims, **characterised in that** the space elements (33) are squareshaped.

9. Process according to one of the above claims, **characterised in that** the size of the space elements (33) is variable, and the size increases with increasing altitude.

10. Process according to Claim 9, **characterised in that** the size of the space elements (33) is changeable in three classes, i.e. smallest space elements during rolling on the ground, medium space elements at altitudes below 10,000 feet and large space elements at higher altitudes.

11. Process according to one of the above claims, **characterised in that** the sojourn probabilities are calculated from the respective position, course and course above ground of the aircraft (1, 3, 4), airspeed and speed above ground, course-changing speed and climb/descent speed, and a plurality of calculations with variations of airspeed, course-changing speed and climb/descent speed is carried out.

12. Process according to Claim 1, **characterised in that** values of airspeed assumed for calculating sojourn proba-

bilities, course-changing speed and climb/descent speed are statistically varied, and with each of these variations counters for those space elements are incremented in which the aircraft (1, 3, 4) is located at selected points in time.

5 13. Process according to one of Claims 1 to 10, **characterised in that** the probabilities are calculated from the re-
spective position, course and course above ground of the aircraft, the airspeed and the speed above ground, the
course-changing speed and the climb/descent speed, and values for statistical scattering of the airspeed, the
course-changing speed and the climb/descent speed are taken along, so that at each selected point in time a
statistical distribution of the positions of the aircraft (1, 3, 4) is calculated, and the statistical distributions are con-
verted into sojourn probabilities in individual space elements (33).

10 14. Process according to one of the above claims, **characterised in that** data of other aircraft (3, 4) required for
calculating the sojourn probabilities are measured in the other aircraft (3, 4) and transferred to the own aircraft (1)
by data transmission systems (25).

15 15. Process according to one of Claims 1 to 13, **characterised in that** data of the other aircraft required for calculating
the probabilities are obtained by direction finding.

20 16. Process according to one of Claims 1 to 13, **characterised in that** data of other aircraft (3, 4) required for calculating
the probabilities are obtained by repeated position reports of the other aircraft.

25 17. Process according to one of the above claims, **characterised in that** sojourn probabilities are only calculated for
an airspace (2) which the own aircraft (1) may have entered within a point in time which includes all selected points
in time.

30 18. Process according to one of the above claims, **characterised in that** during calculation of the sojourn probabilities
of at least one other aircraft (3, 4) a reaction of the other aircraft is taken into consideration according to the inventive
process.

30 **Revendications**

1. Procédé pour reconnaître un risque de collision dans le transport aérien, caractérisé par le fait

35 - que pour son propre avion (1) sont calculées les probabilités pour l'avion (1) de se trouver dans des éléments
prescrits (33) de l'espace à plusieurs instants sélectionnés, (probabilités de séjour) et
- qu'à partir des probabilités de séjour de son propre avion et des probabilités de séjour d'autres objets (3, 4,
41), sont calculées des probabilités de séjour simultané de son propre avion (1) et d'au moins l'un des autres
objets (3, 4, 41) dans chacun des éléments de l'espace (probabilités de collision) pour les éléments prescrits
(33) de l'espace et pour les instants sélectionnés.

40 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les éléments de l'espace (33), avec la probabilité de
séjour, chaque fois calculée, de son propre avion (1) et des autres objets (3, 4, 41), sont représentés graphiquement
sur un dispositif d'affichage (30).

45 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé par le fait que sont mis en évidence dans la représentation les
éléments de l'espace (35, 36) pour lesquels la probabilité de collision dépasse une valeur prescrite.

50 4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait

55 - que pour éviter des collisions pour son propre avion (1), une route d'évitement est calculée et affichée lorsque,
pour au moins un élément de l'espace, la probabilité de séjour simultané de son avion propre et d'au moins
un autre objet (3) dépasse une valeur prescrite.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé par le fait qu'à titre d'essai sont calculées, selon des règles d'évitement
connues ou déterminées, plusieurs routes d'évitement (74 à 78) présentant une déviation croissante d'une
route d'évitement à l'autre, qu'est sélectionnée et affichée ou convertie en une instruction la route d'évitement
calculée (78) qui, pour la plus petite déviation, donne une probabilité de rencontre dangereuse inférieure à une
valeur de seuil prescrite et que, si une déviation limite est atteinte sans que diminue de façon correspondante la

probabilité d'une rencontre dangereuse, des routes d'évitement sont calculées selon une autre direction.

- 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que sont calculées des probabilités de séjour pour d'autres avions se trouvant à l'intérieur d'un éloignement pertinent.
- 5 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que, lors de la représentation des éléments de l'espace (33) et/ou lors du calcul des routes d'évitement, on prend en compte des objets (41) fixes par rapport au sol avec une probabilité de séjour de 1.
- 10 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les éléments de l'espace (33) sont des parallélépipèdes rectangles.
- 9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la grandeur des éléments de l'espace (33) est variable, cette grandeur croissant avec une altitude croissante.
- 15 10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé par le fait que la grandeur des éléments de l'espace (33) peut varier en trois classes, à savoir de très petits éléments de l'espace lors du roulage au sol, des éléments de l'espace moyens pour des altitudes inférieures à 10,000 pieds et de grands éléments de l'espace pour des altitudes supérieures.
- 20 11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les probabilités de séjour sont calculées à partir de la position respective, du cap et du cap de l'avion (1, 3, 4) par rapport au sol, de la vitesse de vol et de la vitesse par rapport au sol, de la vitesse de changement de cap et de la vitesse de montée/descente, une pluralité de calculs étant effectués avec des variantes de la vitesse de vol, de la vitesse de changement de cap et de la vitesse de montée/descente.
- 25 12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé par le fait que le système fait varier statistiquement les valeurs, admises pour le calcul des probabilités de séjour, de la vitesse de vol, de la vitesse de changement de cap et de la vitesse de la montée/descente et que pour chacune de ces variantes des chiffres sont incrémentés pour les éléments de l'espace dans lesquels l'avion (1, 3, 4) se trouve aux instants sélectionnés.
- 30 13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait que les probabilités sont calculées à partir de la position respective, du cap et du cap de l'avion par rapport au sol, de la vitesse de vol et de la vitesse par rapport au sol, de la vitesse de changement de cap et de la vitesse de montée/descente, des valeurs étant attribuées pour la dispersion statistique de la vitesse de vol, de la vitesse de changement de cap et de la vitesse de montée/descente, de sorte qu'à tout instant sélectionné est calculée une distribution statistique des positions de l'avion (1, 3, 4) et que sont calculées les distributions statistiques dans les probabilités de séjour dans différents éléments de l'espace (33).
- 40 14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les données, nécessaires pour le calcul des probabilités de séjour, concernant les autres avions (3, 4) sont mesurées dans les autres avions (3, 4) et transmises à son propre avion (1) par des systèmes de transmission de données (25).
- 45 15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que les données, nécessaires pour le calcul des probabilités, concernant les autres avions sont obtenues par relèvement.
- 16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que les données, nécessaires pour le calcul des probabilités, concernant les autres avions (3, 4) sont obtenues par des annonces répétées de position des autres avions.
- 50 17. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les probabilités de séjour ne sont calculées que pour un espace aérien (2) dans lequel son propre avion (1) peut se trouver à l'intérieur d'une période contenant tous les instants sélectionnés.
- 55 18. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que lors du calcul des probabilités de séjour, d'au moins un autre avion (3, 4) on tient compte d'une réaction de l'autre avion en fonction du procédé conforme à l'invention.

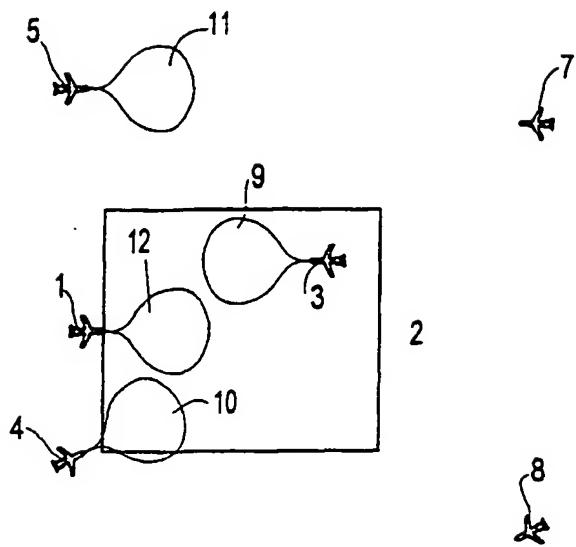


Fig. 1

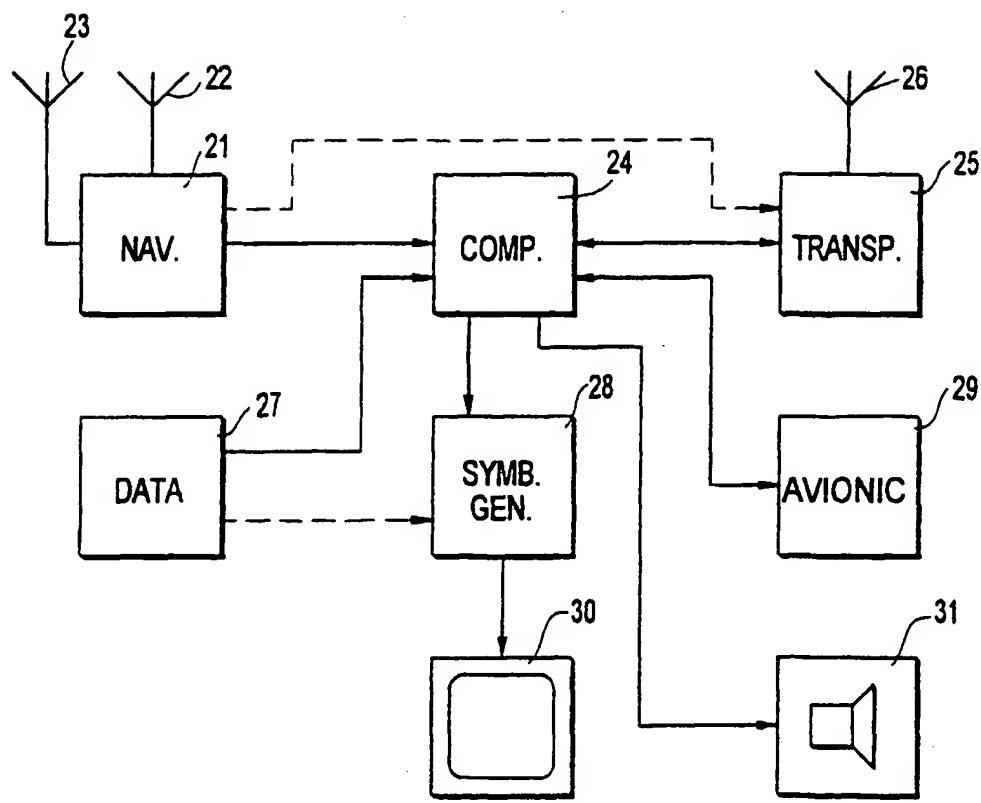


Fig. 2

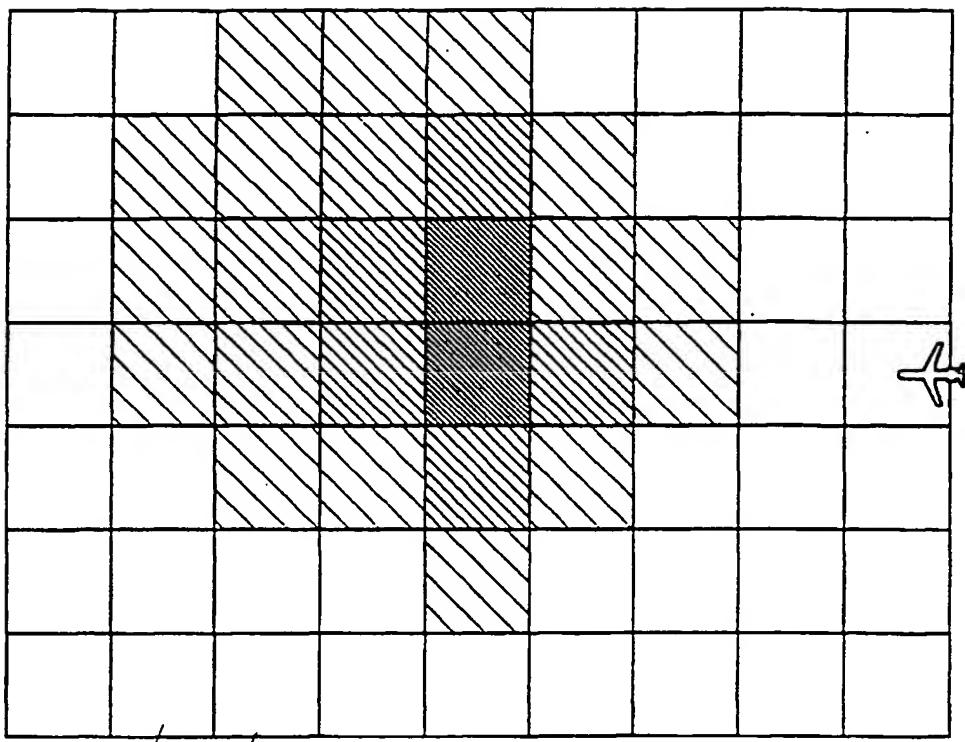


Fig.3b

$$t = t_1 + n \cdot \delta t$$

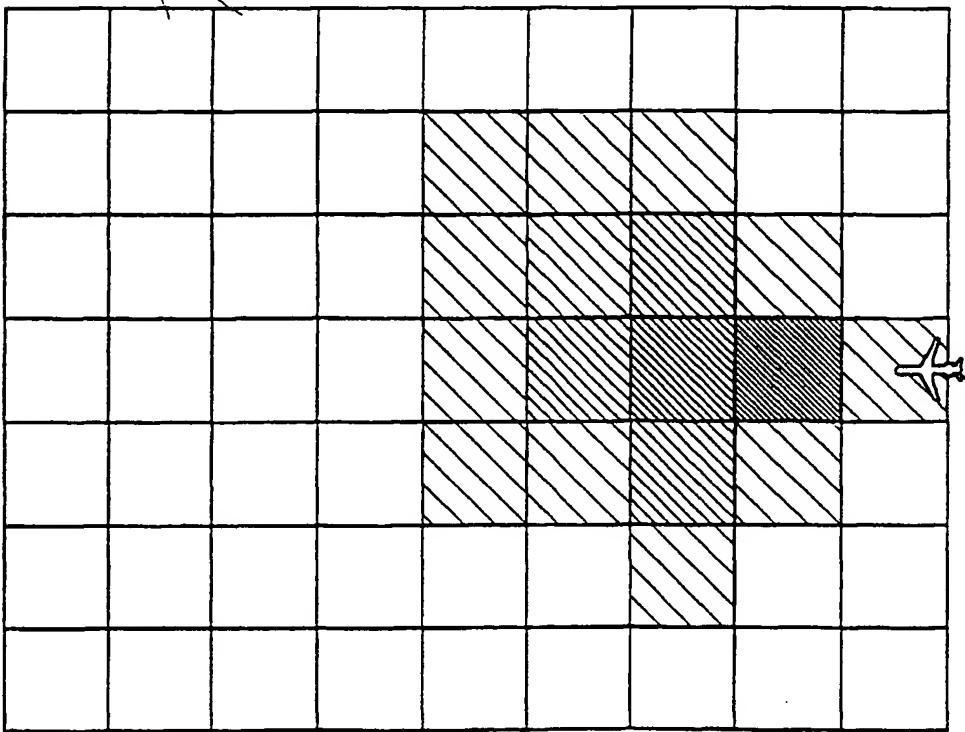


Fig.3a

$$t = t_1$$

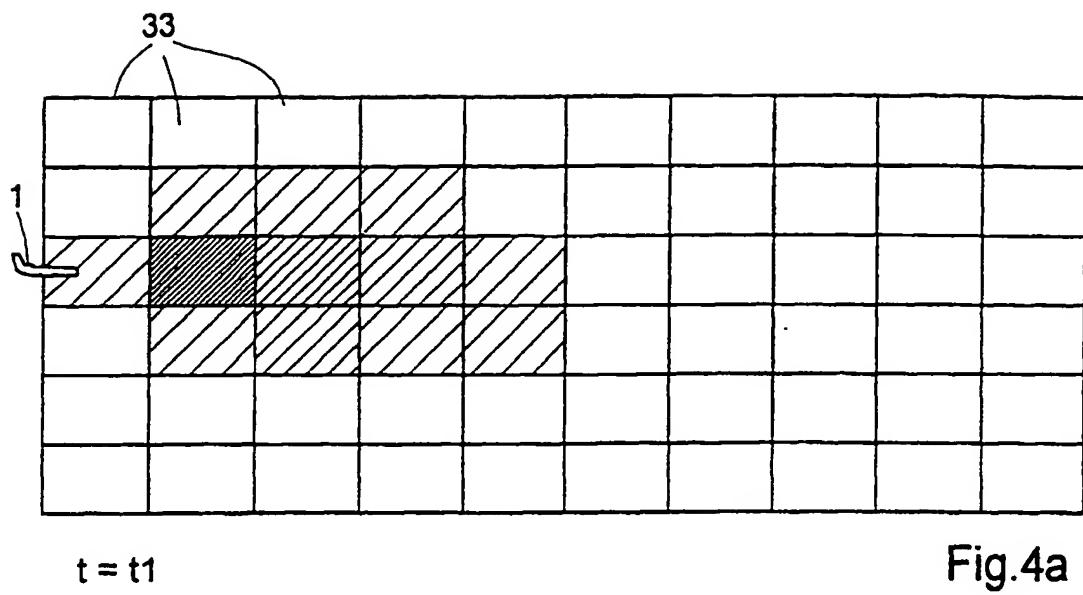


Fig.4a

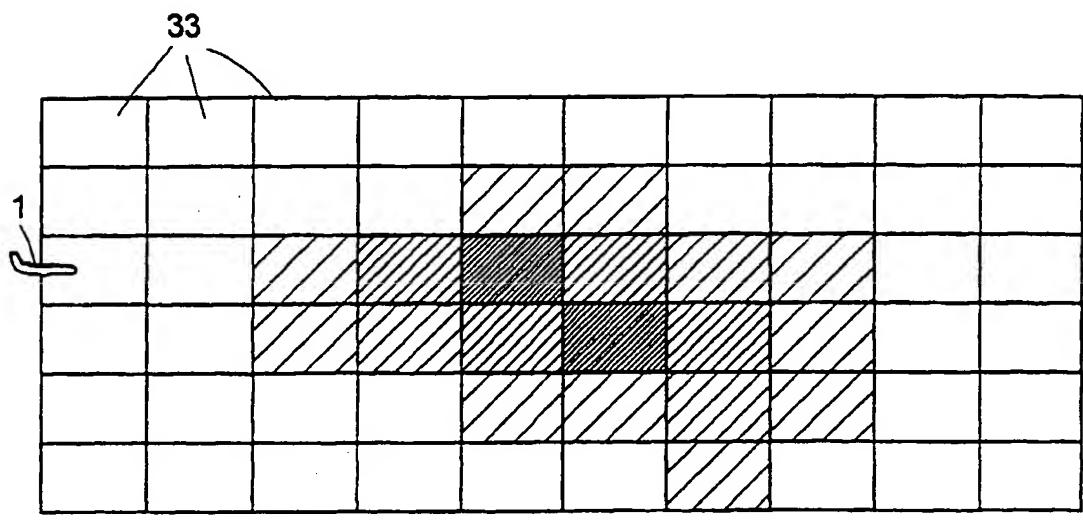


Fig.4b

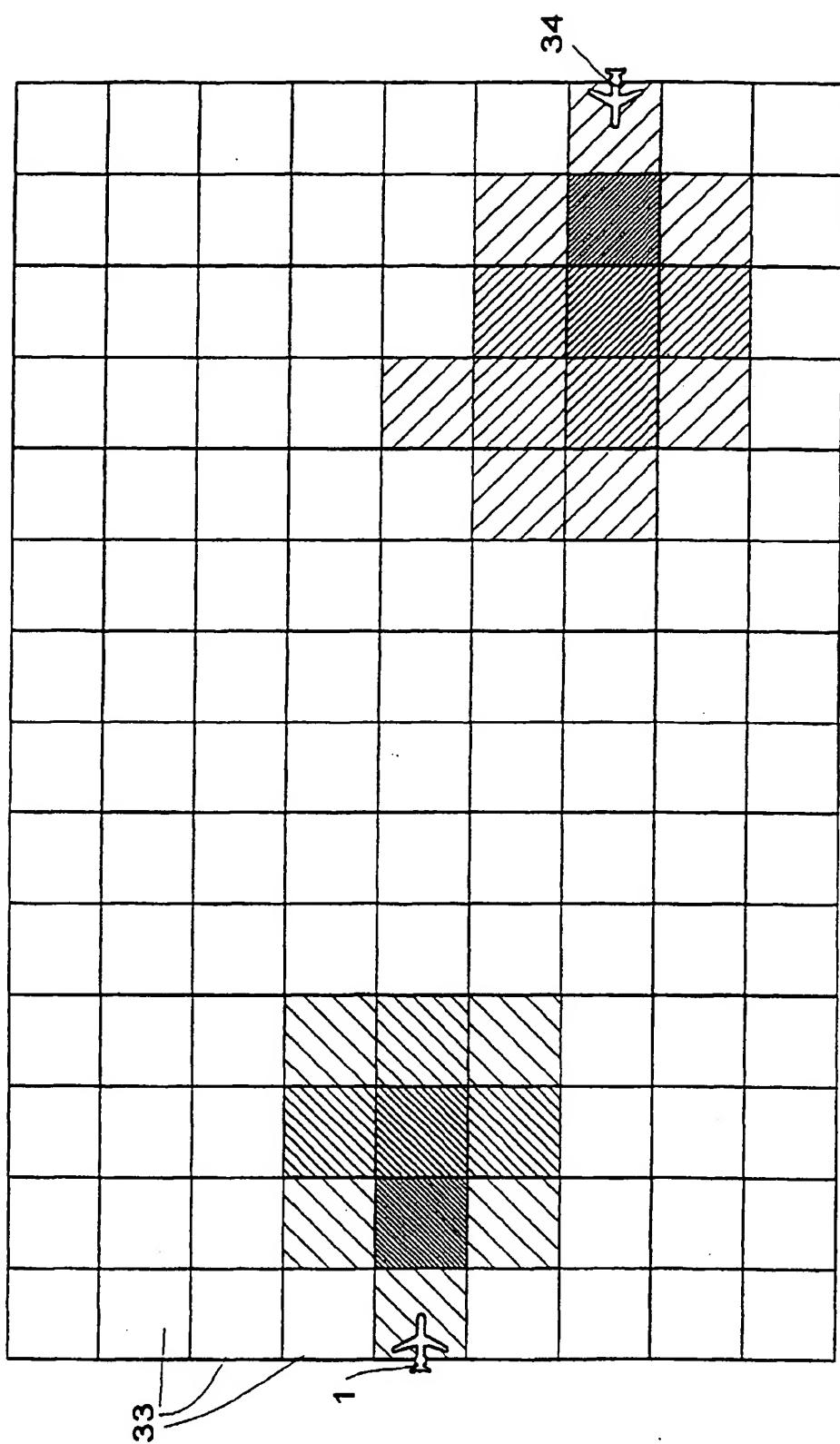


Fig.5a

$t = t_1$

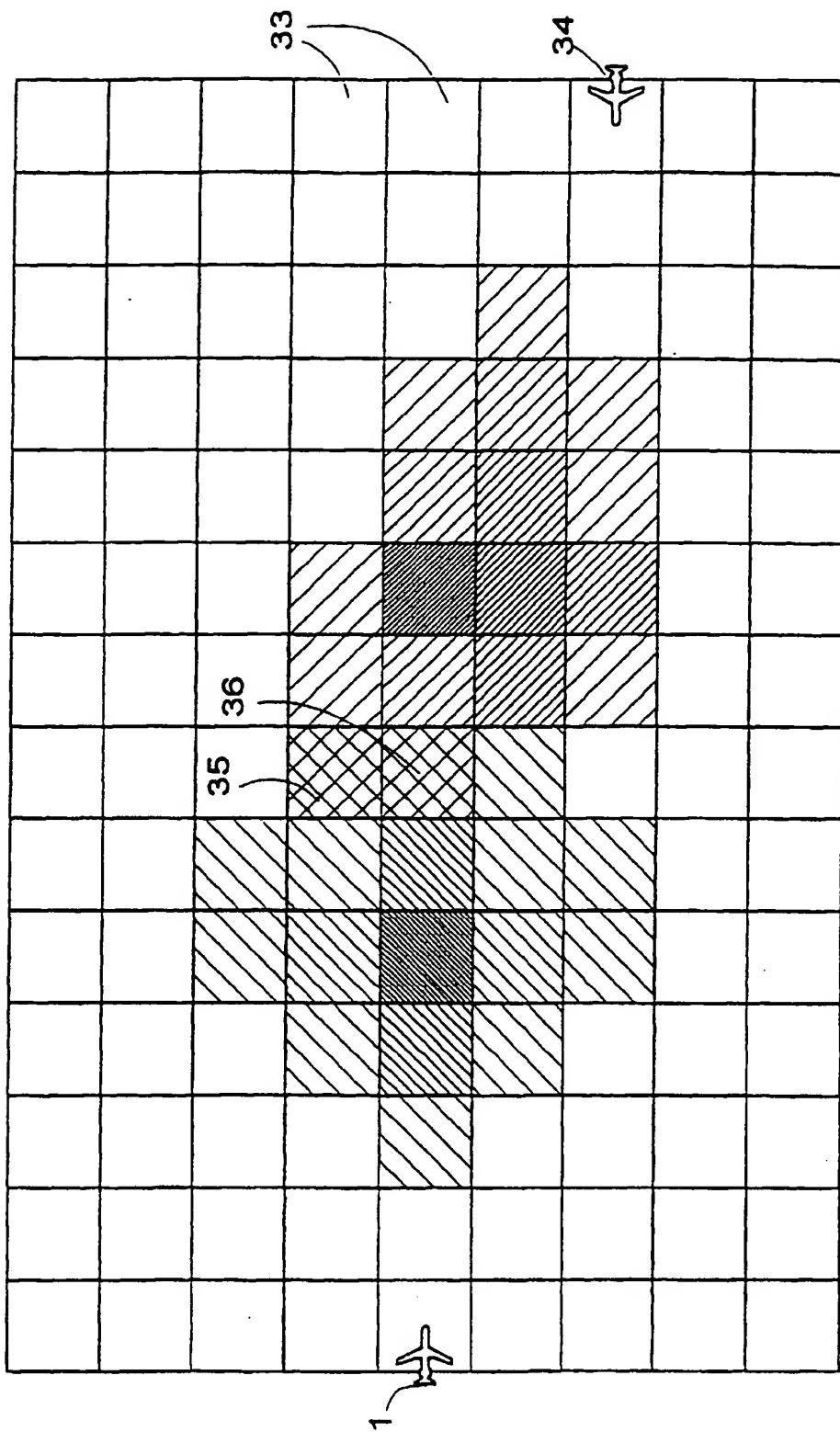


Fig. 5b

$$t = t_1 + n \cdot \delta t$$

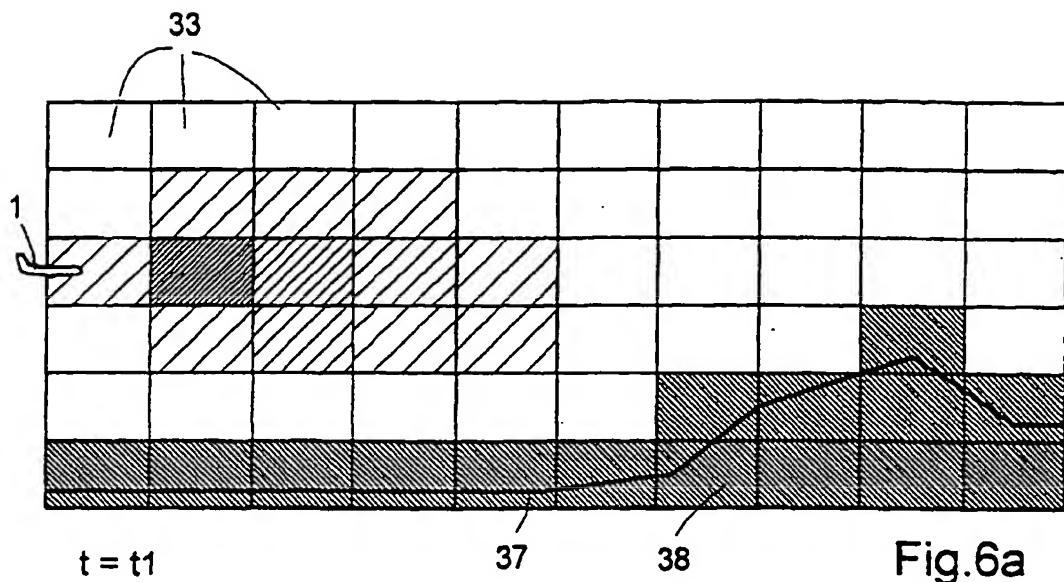


Fig.6a

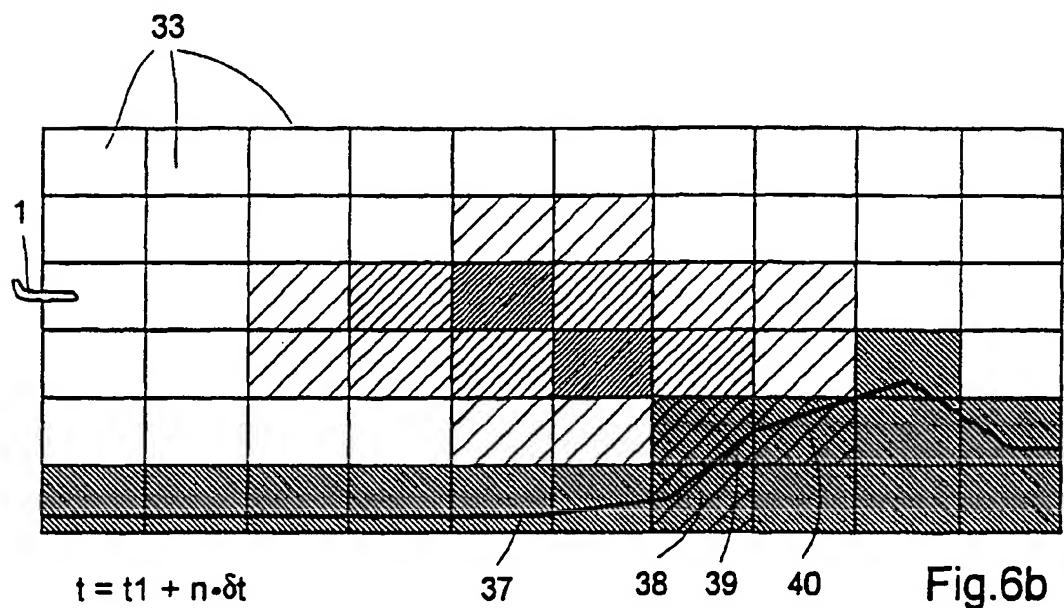
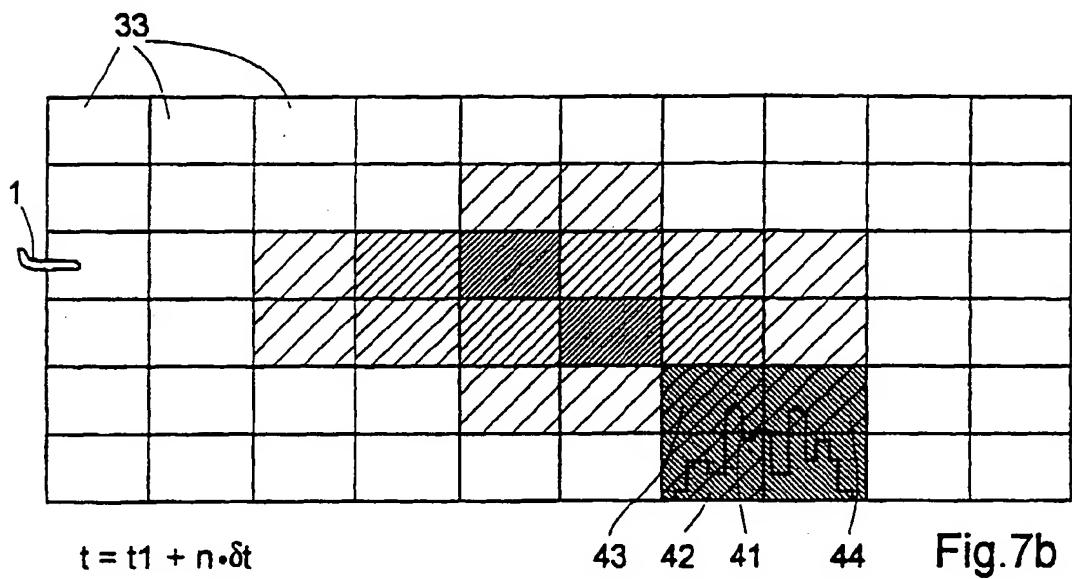
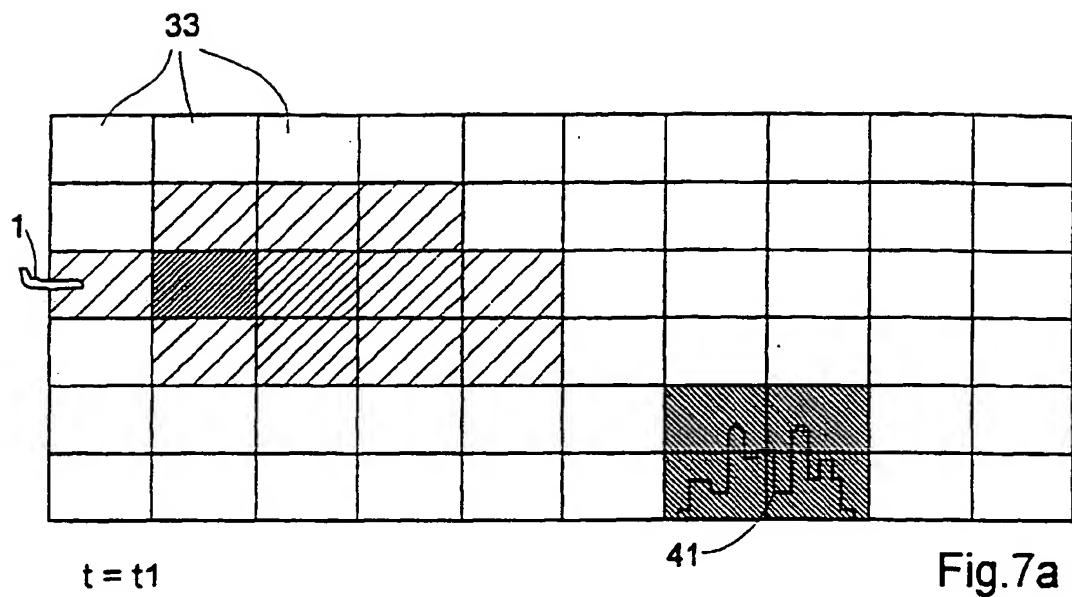


Fig.6b



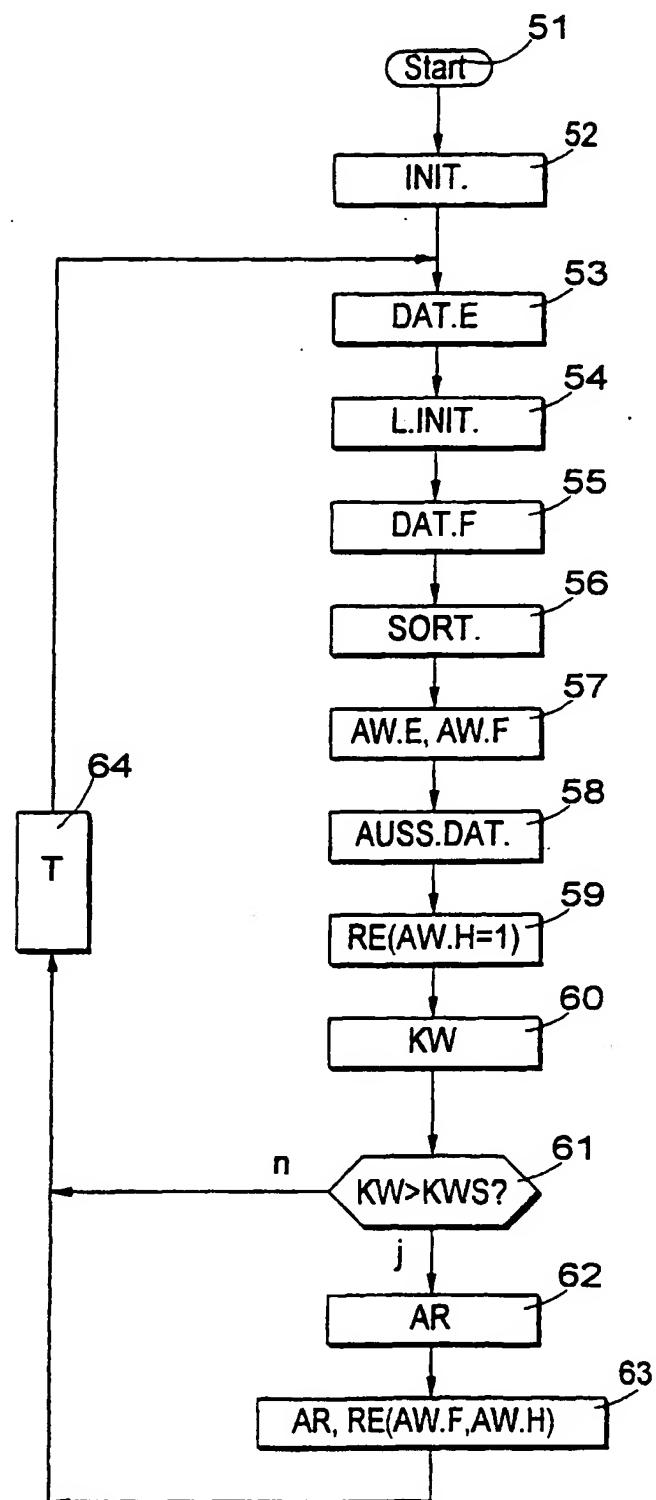


Fig.8

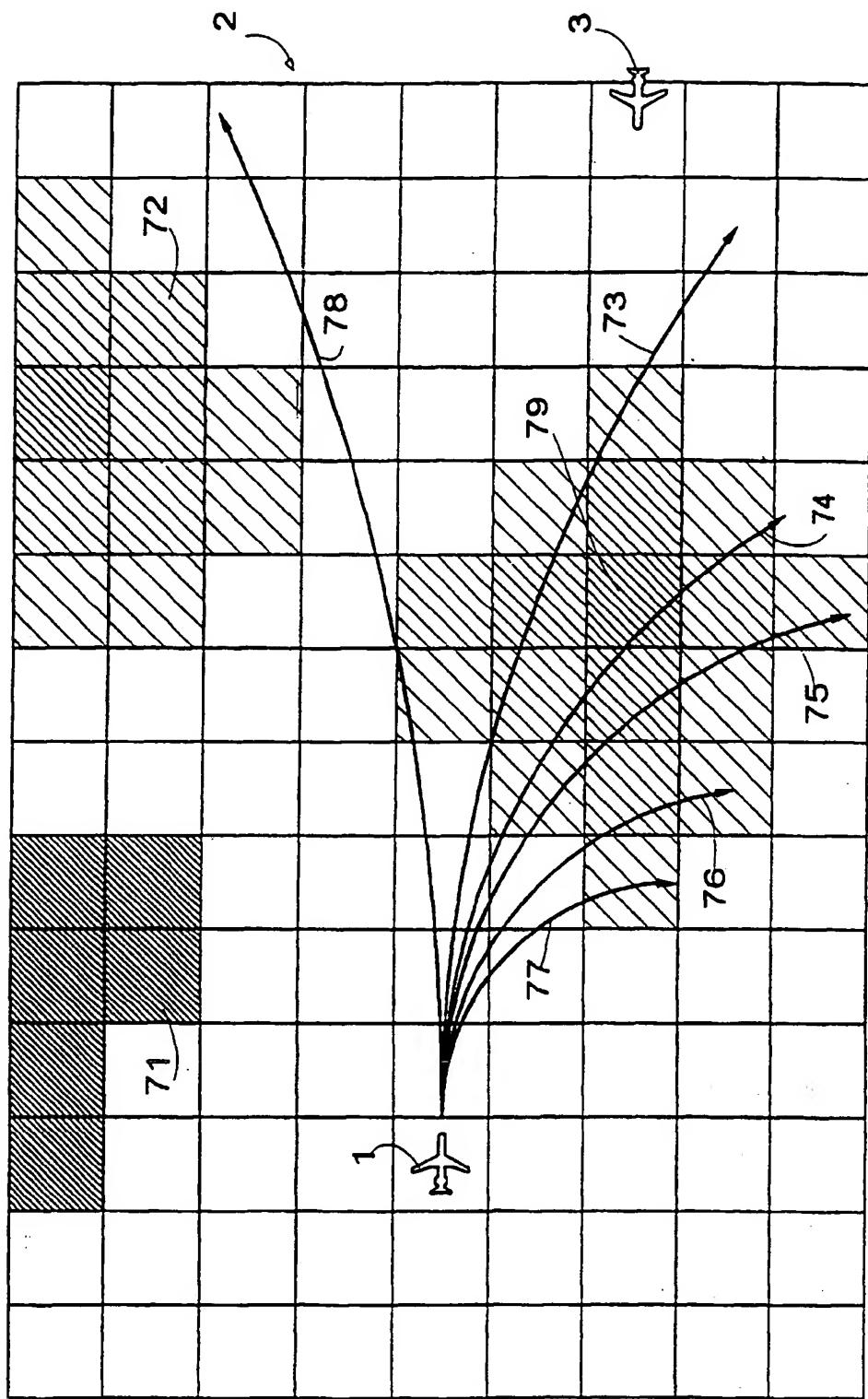


Fig. 9

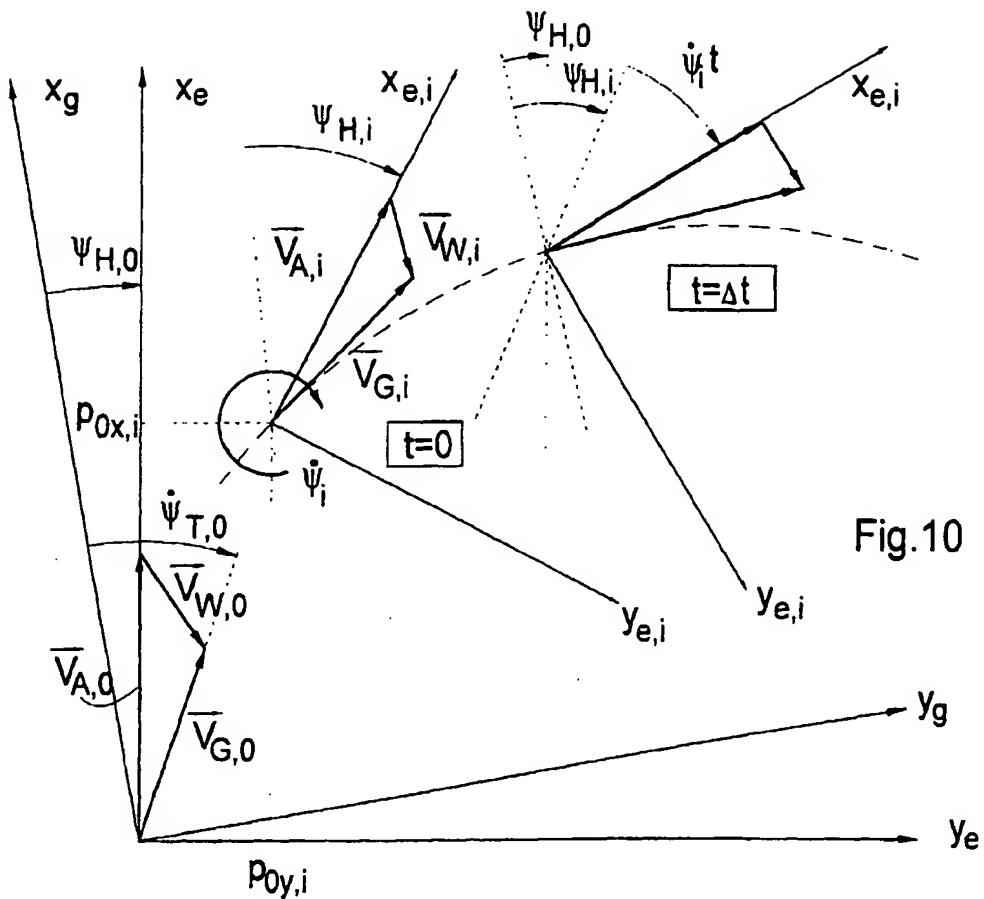


Fig. 10

v_A Fluggeschwindigkeit
 v_G Geschwindigkeit über Grund
 v_w Windgeschwindigkeit
 v_{vs} Steig-/Sinkgeschwindigkeit
 p Position

ψ_H Kurs
 ψ_T Kurs über Grund
 $\dot{\psi}$ Kursänderungsgeschwindigkeit
 γ Bahnwinkel

Index i: fremdes Luftfahrzeug
 Index 0: eigenes Luftfahrzeug

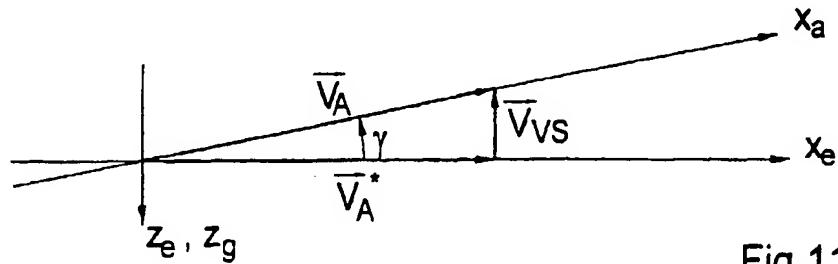


Fig. 11